TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA MATERIÁLU

Studijní program: M2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2303 T 002 Strojírenská technologie

Zaměření: Materiálové inženýrství

Odlišnosti degradace ventilové oceli plynových a naftových motorů

The Distinction of the Valve Steel of Gas and Diesel Engines Degradation

KMT – 263

Zdeňka Jenčková

Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

Počet stran: 57

Počet příloh: 3

Počet obrázků: 14

Počet grafů: 5

Počet tabulek: 19

V Liberci leden 2011

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra materiálu

Studijní rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení **Zdeňka J E N Č K O V Á**

studijní program **M2301 Strojní inženýrství**

obor **2303 T 002 Strojírenská technologie**

zaměření **Materiálové inženýrství**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Odlišnosti degradace ventilové oceli plynových a naftových motorů

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle diplomové práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Seznamte se s funkcí, namáháním a materiály výfukových ventilů.
2. Získejte informace o používaných plynných a tekutých palivech motorů z hlediska teplotních a korozních poměrů ve spalovacích prostorách válců.
3. Prostudujte expertízy reklamovaných a dlouho provozovaných výfukových ventilů.
4. Proveďte nezbytné dodatečné laboratorní zkoušky.
5. Stanovte souvislosti a hypotézy k zvýšení odolnosti ventilů.

Forma zpracování diplomové práce:

- průvodní zpráva v rozsahu 40- 50 stran

- přílohy

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

[1] Kolektiv autorů. Provozní degradace austenitických ventilových ocelí. Sborník semináře, Liberec 2006, ISBN 80-7372-113-9.

[2] Expertízy a DP týkající se opotřebených ventilů motorů LIAZ – TEDOM.

[3] PTÁČEK, L. a kol. *Nauka o materiálu*. 1. vydání. Nakladatelství CERM s. r. o.: Brno 1999. ISBN 80 – 7204 – 130 – 4.

Vedoucí diplomové práce: doc.Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

L. S.

doc. Ing. František STUCHLÍK, CSc. prof. Ing. Petr LOUDA, CSc.

vedoucí katedry děkan

V Liberci dne 31.10. 2009

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ) Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuk

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra materiálu

ANOTACE

Studijní program: M2301 Strojní inženýrství

Autor práce: Zdeňka Jenčková

Téma práce: Odlišnosti degradace ventilové oceli plynových a naftových motorů

Číslo DP: KMT – 263

Vedoucí DP: doc. Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

Anotace:

Diplomová práce se zabývá problematikou odlišnosti degradace ventilové oceli plynových a naftových motorů firmy TEDOM s.r.o. Teoretická část popisuje motorová paliva plynná a kapalná, motorové ventily, materiály motorových ventilů a metody nedestruktivního zkoušení ventilů. Experimentální část popisuje hlavní odlišnosti porušení motorových ventilů plynových a naftových motorů.

Klíčová slova: motorové ventily, motorová paliva, porušení ventilů

TECHNICAL UNIVERSITY LIBEREC

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

Department of Material Science

ANNOTATION

Study programme:	M2301 Mechanical Engineering
Author:	Zdeňka Jenčková
Thesis:	The Distinction of the Valve Steel of Gas and Diesel Engines Degradation
Number thesis:	KMT - 263
Thesis supervisor:	doc. Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

Annotation:

The issue of the distinction of the valve steel of gas and diesel engines degradation of the company TEDOM inc. is dealt with in the diploma thesis. The gaseous and liquid engine fuel, engine valves, materials of engine valves and methods of nondestructive tests of valves are described in the theoretical part. The main distinctions of the infringement of gas and diesel engine valves are described in the experimental part.

Key words: engine valves, engine fuel, infringement valves

Prohlášení

Obsah této práce má z pohledu firmy TEDOM s.r.o. důvěrný charakter a její obsah není určen k šíření tiskem, veřejným půjčováním apod.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování bych zde chtěla věnovat především panu doc. Ing. Břetislavu Skrbkovi, CSc. za jeho čas, cenné rady a připomínky při zpracování této diplomové práce. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat svým rodičům a celé rodině za jejich podporu během mého studia.

OBSAH

1. ÚVOD

V dnešní době je důležitou součástí provozu motorových vozidel jejich vliv na životní prostředí. Z tohoto důvodu se zvyšují nároky na, co nejnižší emise výfukových plynů, které jsou zdravotně škodlivé a negativně působí i na životní prostředí.

Jedním z důvodů hledání alternativních paliv jsou postupně docházející zásoby ropy a v druhém případě ekologie. Jako alternativní paliva jsou označovány zemní plyn, bioplyn, bionafta, atd..

Tato práce navazuje na práce předešlé, v nichž se autoři zabývali změnami austenitické ventilové oceli, které vznikají během provozu motoru. Cílem této práce je zkoumání rozdílů degradace ventilových ocelí plynových a naftových motorů. Vlivem působení paliva, teploty, zatížení apod. dochází ke změnám mechanických a fyzikálních vlastností ventilových ocelí. Degradace ventilu může vést až k nežádoucí havárii motoru. Poškozené ventily (reklamované, vyřazené z provozu v rámci oprav po záruce), byly zabudovány do motorů společností LIAZ až TEDOM s.r.o. Výrobcem ventilů byla firma PRAGA Hrádek nad Nisou, v současnosti TRW DAS Dačice.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Tepelné stroje

Tepelný stroj přeměňuje část vnitřní energie paliva uvolněné hořením na energii mechanickou. Pracuje v rozmezí dvou teplot.

Rozdělení tepelných strojů:

a) *Parní motor*

- Pístový parní motor
- Parní turbína

b) *Spalovací motor*

- Pístový spalovací motor
- Turbínový spalovací motor
- Tryskový spalovací motor

c) *Chladicí stroj*

Spalovací motory

Spalovací motor je mechanický tepelný stroj, přeměňující energii chemickou, vzniklou spalováním paliva, na energii mechanickou. Jedná se tedy o přímou přeměnu tepelné energie paliva v práci. Získaná mechanická práce se využívá k pohonu jiných zařízení. Spalovací motory se vyznačují oproti ostatním tepelným motorům vysokou celkovou účinností, malými rozměry, rychlým spouštěním a spolehlivostí. Mezi jejich nevýhody patří malá přetížitelnost, omezení výkonu, citlivost na palivo a poměrná složitost.

Pístové spalovací motory

U pístového spalovacího motoru se spaliny rozpínají a tlačí na píst ve válci motoru, čímž dochází k přímočarému posuvnému pohybu, který se přes ojnici a klikový hřídel mění na pohyb otáčivý.

Rozdělení pístových spalovacích motorů:

a) *Podle druhu paliva*

- Benzínové
- Naftové
- Plynové
- Několikapalivové (různopalivové)

b) *Podle účelu*

- Stacionární
- Kolejové
- Lodní
- Letadlové
- Vozidlové

Další měřítka rozdělení jsou druh zapalování, druh pracovního oběhu (motor čtyřdobý, dvoudobý) a způsob plnění válce.

Jako palivo bývá u spalovacích motorů nejčastěji používána nafta a benzín. Další možné pohonné hmoty jsou např. propan butan (LPG), zemní plyn (CNG, LNG), bionafta, alkohol atd. Alternativní paliva se používají v mnohem menší míře.

Palivo se mísí se vzduchem a tím vytváří hořlavou směs, která nesmí zanechávat v přívodu ani po shoření mechanicky ani chemicky škodlivé součásti (prach, popel, dehet, saze, atd.). Vzduch nesmí obsahovat prach, měl by být čistý, suchý a studený. Teplý vzduch obsahuje méně kyslíku potřebného k hoření směsi. Čím je vzduch teplejší, tím více se ho musí přivést, a tak dochází ke snížení přívodu paliva. To vede k poklesu výkonu. [15]

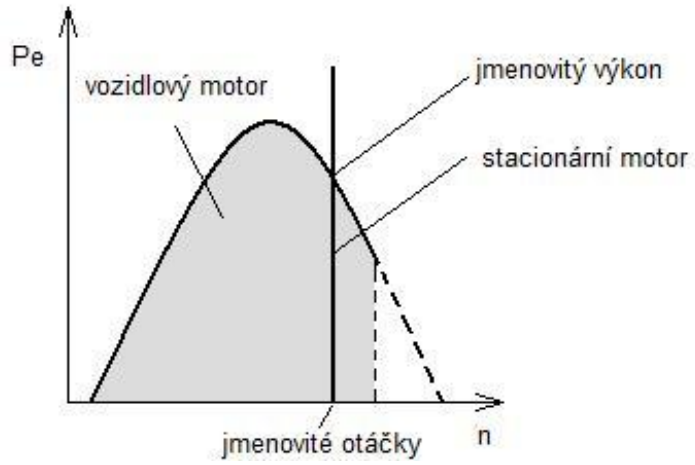
V této práci jsou zkoumány motory stacionární a vozidlové, proto jsou zde zvláště zmíněny.

Stacionární motor

Stacionární motor pracuje při konstantním počtu otáček, které jsou udržovány pomocí regulátoru v požadovaných mezích. Výkon i moment ostře klesají, protože přívod směsi nebo paliva je prudce omezen regulátorem.

Vozidlový motor

Vozidlový motor na rozdíl od motoru stacionárního pracuje v širokém rozmezí počtu otáček, v kterém je provoz spolehlivý a pravidelný. Moment se může měnit při každém počtu otáček, ale jen v příslušných mezích. Na obr. 1 je znázorněn rozdíl mezi stacionárním a vozidlovým motorem v provozním stavu. [15]



Obr. 1. Provozní pole vozidlového a stacionárního motoru.

2.2. Zážehové motory

Směs paliva je ve spalovací komoře válce zažehnuta uměle, pomocí elektrické jiskry mezi elektrodami zapalovací svíčky. Hořlavá směs se tvoří před pracovním válcem. Vnější tvoření umožňuje spalování homogenní směsi. Jako palivo se používá nejčastěji benzín nebo po úpravě i zemní plyn. [1]

U plynových zážehových motorů se při hoření vyvíjí kysličník uhličitý a voda a při nedokonalém spalování také kysličník uhelnatý, vodík i metan. Výhodou

je, že nevznikají saze, a proto mohou plynové motory pracovat s nedostatkem vzduchu kdy je $\lambda < 1$. λ je součinitel přebytku vzduchu, jehož pomocí se určuje směs paliva a vzduchu. Při $\lambda < 1$ dochází k nedokonalému spalování se vznikem škodlivin ve výfukových plynech, především CO. Ventily jsou při tomto stavu více tepelně zatěžovány, pracují za vyšších provozních teplot. Proto je lepší pokud je součinitel přebytku tepla roven 1, kdy je směs 100 % bohatá a dochází k lepšímu spalování. [15]

2.3. Vznětové motory

Spotřeba paliva je nižší než u srovnatelného zážehového motoru. Vyplývá to z vyšší tepelné účinnosti vznětového motoru. [2]

Vznětové a zážehové motory se liší ve způsobu zapálení pohonné směsi. Zážehové motory používají k zapálení elektrickou jiskru, kdežto u vznětových motorů se dociluje zapálení směsi vstříknutím paliva vysokým tlakem do komprimovaného horkého vzduchu, v němž palivo vzplane bez pomoci cizího zdroje. [8]

U naftových motorů při hoření vzniká oxid uhličitý (CO_2), oxid uhelnatý (CO), vodní páry, kyslík, vodík a dusík. Při nedostatku kyslíku během spalování zůstává v naftovém motoru téměř čistý uhlík ve formě sazí a spalování je kouřné. Tím dochází k znečištění válce i ventilů. Při velkém nedostatku vzduchu se stává provoz nemožným. Proto musí naftové motory pracovat s přebytkem vzduchu $\lambda > 1$. Pokud je součinitel přebytku vzduchu $\lambda > 1$, je směs chudá, s přebytkem vzduchu, který ochlazuje ventily, které jsou méně zatíženy provozními teplotami než u plynových motorů. [15]

2.4. Motorová paliva

Většina paliv je složena z uhlíku a vodíku, jejichž spalováním společně s kyslíkem dochází k uvolňování tepelné energie, přeměňované na energii mechanickou. Vzduch, přiváděný do systému, musí být co nejčistší, suchý

a studený, protože čím teplejší vzduch bude přiváděn, tím méně v něm bude zastoupen kyslík. Pokud má vzduch nízký obsah kyslíku, musí se zmenšit příděl paliva, a tím dochází ke snížení výkonu. [15]

Nejpoužívanější motorová paliva v dnešní době jsou automobilový benzín, motorová nafta a v menší míře i zemní plyn. Poslední dobou se hledají i jiná alternativní paliva z důvodu omezených zdrojů ropy, rostoucí spotřeby paliv a v neposlední řadě z ekologického hlediska. V ekologii se dbá o snižování plynných emisí z motorových vozidel. Mezi alternativní paliva řadíme: bioplyn, koksárenský plyn, skládkový plyn, kalový plyn, bionaftu, vodík, bioetanol, atd. V této kapitole je psáno o několika vybraných plynných a kapalných palivech.

Motory na plynná paliva pracují s nižšími tlaky než motory naftové. Ve fázi hoření směsi a následné expanzi a výfuku je pracovní teplota náplně válce vyšší. Z toho plyne, že části plynových motorů jsou mnohem více tepelně namáhané než u motorů naftových. Zvýšené tepelné zatížení plynového motoru má mimo jiné vliv na degradaci výfukových ventilů a výfukového potrubí. Teplota výfukových plynů u naftových motorů se pohybuje kolem 700 °C u plynových motorů je tato teplota vyšší v rozmezí 800 až 830 °C. Plynná paliva mají vyšší antidetonační vlastnosti. V současné době se hodně dbá na ekologii, a proto se u motorů sledují emisní limity. Plynové motory mají oproti naftovým motorům výhodu v podobě 10 - ti násobně nižších emisí škodlivých částic. [21]

Emise výfukových plynů plynových a naftových motorů

Výfukové plyny obsahují:

- dusík N_2 – není škodlivý, pochází z nasávaného vzduchu
- vodní páry H_2O – vznikají sloučením vodíku s kyslíkem
- NO_x – oxidy dusíku, smě oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO_2), společně s uhlovodíky se podílí na vzniku smogu, NO_2 – jedovatý, červenohnědý, zapáchající plyn škodlivý pro zdraví člověka (napadá plíce), společně s vodou vytváří kyselinu dusičnou HNO_3 - koroze

- CH uhlovodíky – ve výfukových plynech jako nespálené a částečně spálené uhlovodíky, nespálené – parafíny, acetylen, olefíny, aromatické uhlovodíky, částečně spálené – aldehydy, ketony
- CO_2 oxid uhličitý – není jedovatý, vzniká dokonalým spalováním uhlíku obsaženého v palivu a kyslíku, Čím více je ho ve výfukových plynech, tím je dokonalejší spalování.
- CO oxid uhelnatý – velmi jedovatý bezbarvý plyn, vzniká při nedostatku kyslíku během spalování
- pevné částice – vznikají ve vznětových motorech
- oxid siřičitý SO_2 – vyšší hodnoty u naftového motoru, sloučením s vodou vznikají sirné kyseliny = kyselé deště [22]

2.4.1. Plynná paliva

Plynná paliva jsou z hlediska činnosti motoru výhodnější než paliva kapalná, jelikož mísením dvou látek stejného skupenství lze snadněji dodržet správný směšovací poměr paliva a vzduchu. Dochází k dokonalému využití vzduchu ve spalovacím prostoru, tím je docíleno lepší čistoty spalin. Nevýhodou je špatné skladování, doprava a distribuce. Plyny, které obsahují větší množství CO, jsou značně jedovaté.

Rozdělení plynů vychází z hlediska jejich výhřevnosti. Dělí se na chudé, s výhřevností menší než 12 000 $kJ.m^{-3}$ a bohaté, s vyšší výhřevností.

Chudé plyny jsou velmi levné, používají se různé plyny generátorové vyráběné často z odpadních látek. Hlavní nevýhodou je špatné odstraňování dehtových látek a s tím spojená nutná údržba.

Bohaté plyny se používají k pohonu spalovacích motorů. Do této skupiny plynů patří svítiplyn, koksárenský plyn i jiné produkty destilace pevného popř. kapalného paliva, kalový plyn, přírodní zemní plyn, různé plynné uhlovodíky a jejich směsi s jinými plyny vznikajícími při chemických výrobních procesech. Kalový plyn vzniká při hnilobě kanalizačních i jiných odpadů.

V tabulce 1 jsou plynná paliva, jejich hlavní složky a výhřevnost při tlaku 100 kPa a teplotě 27°C. [1]

Plyn	Hlavní složky	Spodní výhřevnost [kJ.m^{-3}]	
Vysokopecní plyn	CO, CO_2, N_2	2 500 až 4 620	Chudé plyny
Generátorový plyn	CO, H_2, CO_2, N_2	4 200 až 5 900	
Vodík	H_2	9 500 (120 000 kJ.kg^{-1})	
Zemní plyn	CH_4, C_2H_6, CO_2, N_2	25 200 až 33 600	Bohaté plyny
Kalový plyn	CH_4, CO_2, N_2	21 000 až 29 400	
Koksárenský plyn	H_2, CH_4, CO, N_2	16 000 až 20 000	
Svítiplyn	H_2, CH_4, CO, N_2	14 700 až 18 000	
Propan	C_3H_8	83 500 (46 200 kJ.kg^{-1})	
Butan	C_4H_{10}	108 000 (45 700 kJ.kg^{-1})	

Tab. 1: Plynná paliva.

2.4.1.1. Zemní plyn

Nejpoužívanějším a zároveň nejkvalitnějším plynným palivem pro motory je zemní plyn, který je směsí plynných uhlovodíků s přednostním podílem metanu CH_4. Zemní plyn se nachází často s ložisky ropy (naftový zemní plyn) nebo s uhlím (karbonský zemní plyn). Podle vědeckých teorií vznikl postupným uvolňováním při vzniku uhlí nebo ropy důsledkem postupného rozkladu organického materiálu.

Plynové motory, které spalují zemní plyn, zajišťují na rozdíl od ostatních plynných paliv nižší emise NO_x. Toho leze docílit vhodným seřízením motoru (ochuzením směsi, snížením předstihu zážehu u zážehových motorů). [1]

Prokázané zásoby zemního plynu při současné těžbě by měly vydržet do roku 2060. Používá se jako palivo pro klasický benzínový motor nebo vznětový motor. Palivové zásobníky jsou speciálně konstruovány buď pro stlačený zemní plyn CNG, nebo pro zkapalnělý zemní plyn LNG. CNG je stlačený zemní plyn při tlaku 200 barr a LNG je zkapalnělý zemní plyn při teplotě -162°C. [11]

Druhy přírodního zemního plynu

Dle složení se dělí do čtyř základních skupin:

Zemní plyn suchý (chudý) s obsahem metanu 95 až 98 % s nízkým obsahem vyšších uhlovodíků.

a) Zemní plyn vlhký (bohatý) má větší podíl vyšších uhlovodíků, které jsou při normálních podmínkách plynné. Jde o etan, propan a butan.

b) Zemní plyn kyselý obsahuje vysokou část sulfanu (H_2S), který se před distribucí musí v úpravárenských závodech odstranit.

c) Zemní plyn s vyšším množstvím inertů.

V tabulce 2 jsou uvedeny příklady složení zemního plynu.

Zemní plyn	Metan	Vyšší uhlovodíky	Inerty
ČR naftový	97,7	1,7	0,6
ČR karbonský	92,5	2,2	6,3
Rusko	98,4	0,8	0,8
Norsko	93	4,9	2,1

Tab. 2: Složení zemního plynu.

Naftový zemní plyn je nejvyužívanější. Při těžbě naftového zemního plynu spolu s ropou je tento plyn zpravidla vlhký. Karbonský plyn těžený s uhlím je suchý plyn. [1]

Vybrané fyzikální charakteristiky:

Jsou jen přibližné, liší se dle složení na různých nalezištích.

- Hustota $\rho = 0{,}694\ kg/m^3$
- Spalovací rychlost 34 cm/s
- Bod vzplanutí t = 152 °C

- Bod hoření t = 650 °C
- Teplota vznícení 537 – 580 °C
- Adiabatická spalovací teplota 2 055 °C
- Výhřevnost 34,091 MJ/m^3
- Teoretické množství spalin 9,53 % CO_2, 18,95 % H_2O, 71,52 % N_2
- Oktanové číslo u spalovacích motorů 130 [11]

2.4.1.2. LPG

Dříve se takto označovaly zkapalnělé ropné plyny směs C_3 a C_4, v současnosti slouží k pojmenování směsi propanu s butanem vyráběných právě z ropných plynů. Ropné plyny se získávají buď přímo ze zemního plynu (přibližně 60 % produkce), nebo z ropných rafinérií. Zkapalnělé ropné plyny obsahují čisté uhlovodíky převážně se třemi a čtyřmi atomy uhlíku v molekule nebo jejich směsi. Základní složky jsou nasycené uhlovodíky – propan (C_3H_8), n-butan (C_4H_{10}) a isobutan. Jsou bezbarvé vysoce těkavé, výbušné se specifickým zápachem. Při zkapalnění zmenšuje LPG svůj objem až 260 krát a uchovává se v tlakových nádobách. Pokud expanduje kapalný LPG při atmosférickém tlaku dojde vlivem vypařování k jeho prudkému ochlazení až -45 °C a při styku s pokožkou vznikají omrzliny.

Obsahuje-li palivo větší množství síry, dochází k tvorbě krystalických sirných sloučenin s kovy (sulfidy), které se usazují v systému. Dojde-li k usazení na elektrodě zapalovací svíčky, může dojít k vynechávání zapalování směsi. Hromadění těžko odpařitelných podílů paliva způsobuje zhoršení pohyblivosti mechanických prvků a omezení jejich funkce.

V tabulce 3 jsou uvedeny vybrané fyzikální vlastnost LPG. [11]

Parametr	Propan	n-Butan
Hustota kap. fáze při 15°C [kg/dm^3]	0,508	0,585
Hustota plynné fáze při O°C a 0,1MPa [kg/m^3]	2,019	2,590
Kritická teplota [°C]	96,74	152,04
Spalné teplo (kap. fáze) [MJ/kg]	50,43	51,75
Spalné teplo (plynná fáze) [MJ/m^3]	101,82	134,02
Výhřevnost (kap. fáze) [MJ/kg]	46,34	47,7
Výhřevnost (plynná fáze) [MJ/m^3]	93,57	123,55
Max. teplota spalování se vzduchem °C	1925	1897
Max. teplota spalování s kyslíkem °C	2850	2960

Tab. 3: Vybrané fyzikální vlastnosti LPG.

2.4.1.3. Bioplyn

Základ bioplynových technologií jednoznačně vzešel z procesů čištění splaškových odpadních vod. Vyrábí se z biomasy nebo z biodegradabilního podílu odpadů, které lze vyčistit na kvalitu zemního plynu a použít jako biopalivo. Jako biomasu označujeme biodegradabilní podíl produktů z odpadů, zbytků ze zemědělské výroby (rostlinného i živočišného původu), dřevařského průmyslu a příbuzných odvětví a dále také z biodegradabilního průmyslového a komunálního odpadu. Hlavní výhodou je jejich dobrý přínos pro ochranu životního prostředí. Plně obnovitelné energetické zdroje bioplynových systémů ve všech možných uspořádáních transformují a využívají solární energii. Pod názvem bioplyn je myšlena plynná směs metanu a oxidu uhličitého, která v malé míře obsahuje i některé další minoritní složky organického nebo anorganického charakteru. Výroba energie z bioplynu je vysoce ekologická, protože nezpůsobuje další emise skleníkového plynu $C0_2$ a snižuje množství organických odpadních látek.

Suroviny pro výrobu bioplynu:

- Zbytková biomasa, vznikající hlavně v zemědělství. Patří sem hlavně odpady z živočišné výroby a zbytky rostlin. Odpadem z živočišné výroby jsou myšleny zvířecí exkrementy.
- Kaly z čistíren odpadních vod.
- Komunální odpad obsahuje biologicky rozložitelný odpad.
- Potravinářský průmysl.
- Lesnictví. Především z těžby a zpracování dřeva s vysokým obsahem lignocelulózy a sušiny.

Zplodiny bioplynu tvoří hlavně vodní pára a oxid uhličitý. Dále oxid siřičitý, oxidy dusíku, oxid uhelnatý, uhlovodíky a saze. V bioplynu je obsažena i síra, kterou se snažíme odstranit, protože společně s vodíkem vytváří sulfan, který vzniká degradací sirných sloučenin obsažených v biomase. Při spalování se přeměňuje na oxid siřičitý a následně na oxid sírový, který po sloučení s vodní parou vytváří kyselinu sírovou. Kyselina sírová je silná žíravina, která rozpouští běžné kovy a tím dochází k nežádoucí korozi. Ve zplodinách bioplynu jsou velmi malé částice oxidu křemičitého, které sami o sobě nezpůsobí opotřebení. Problém nastane až po usazení těchto částic na různých místech motoru. Pokud dojde k odlomení tohoto nánosu, může vzniknout abrazivní opotřebení. [20]

a) Skládkový plyn

Vzniká samovolně ve skládkách odpadů, obsahujících biologicky rozložitelné komponenty. Složení kalových plynů je proměnlivé, neboť je závislé na složení odpadů, vlhkosti, hloubce uložení a na procesech vedoucích k jejich vzniku. Kvalitní skládkový plyn má nízký obsah dusíku, nízký obsah kyslíku a prioritními složkami jsou metan a oxid uhličitý.

b) Plyn z průmyslového a komunálního odpadu

Tyto bioplyny se vyrábějí v reaktoru, kde probíhá výroba rychleji než u skládkového plynu. Problémem bývá v některých případech úprava a složení vsázky. Tuhý komunální odpad obsahuje hodně biologicky nerozložitelných částí např.: sklo, plasty, kamení, písek a kovy. Proto se musí nejdříve odpad třídit a separovat, což zvyšuje výrobní náklady.

Aby se mohly bioplyny používat jako motorová paliva, musí se nejdříve vyčistit na požadovanou kvalitu, která odpovídá kvalitě zemního plynu. Musí se odstranit přebytečná voda, aby nedocházelo k její akumulaci a ke kondenzaci v potrubí. Odstraňuje se i oxid uhličitý, čímž se zvýší energetický obsah bioplynu, který je dán obsahem metanu. Další nežádoucí složky jsou sulfany, kyslík, dusík a organokřemičité sloučeniny.

Vybrané fyzikální charakteristiky:

Nejsou příliš přesné díky proměnlivému složení bioplynu. [11]

- Hustota 1,12 až 1,21 kg/m^3
- Spalné teplo 24,7 až 26,6 MJ/m^3
- Výhřevnost 21,5 až 23,9 MJ/m^3
- Max. rychlost hoření 0,25 m/s

2.4.1.4. Koksárenský plyn

Koksárenský plyn je směsí plynů, které vznikají při koksování černého uhlí. Má vysokou výhřevnost díky obsahu vodíku, metanu, oxidu uhelnatého a uhlovodíků. Mezi další složky patří dehet, síra a čpavek. Složení plynu je závislé na složení uhlí a době koksování. Než ho lze použít jako palivo, musí se nejdříve vyčistit. Síra a čpavek způsobují korozi potrubí a sloučeniny síry způsobují emisi SO_2. [13]

Koksárenský plyn obsahuje sirovodík a různé organosírové sloučeniny, které se musí odstranit, jinak by vlivem těchto složek docházelo ke korozi ventilů a jiných částí motoru. [19]

Vybrané fyzikální charakteristiky:

- Hustota 0,53 – 0,62 kg/Nm^3
- Výhřevnost 15,5 až 16,1 MJ/m^3

2.4.2. Kapalná paliva

Kapalná paliva by neměla obsahovat cizí látky, aby nedocházelo ke korozi, musí udržovat tekutost i za nízkých teplot. Pokud by palivo obsahovalo větší množství vody, docházelo by ke ztížení zapálení směsi a samozřejmě i korozi. Maximální obsah síry by neměl být více jak 1 % hmotnostního množství, 0,5 % vody a 0,05 % popela. Množství síry by se mělo hlídat z důvodu, že způsobuje korozi, obzvláště na chladnějších součástech. Další velmi důležitou vlastností paliv je jejich odolnost proti detonacím, která se vyjadřuje pomocí oktanového čísla u lehko odpařitelných paliv (benzín) a cetanovým číslem u paliv, která se po vstříknutí do válce vznítí kompresním teplem (nafta). Čím vyšší jsou tato čísla tím je palivo lepší. [15]

2.4.2.1. Nafta

Vyrábí se ze surové ropy. Ropa je kapalina o hustotě přibližně 0,8 až 1,1 g.cm^{-3}. Její složení závisí na místě původu a hloubce těžby. Obsahuje velké spektrum uhlovodíků. Obvyklý počet atomů uhlíku v molekule je od 1 až do 40. Čím nižší počet uhlíků v molekule, tím menší mají uhlovodíky měrnou hmotnost a nižší bod varu. Uhlovodíky s obsahem uhlíku do 4 atomů jsou atmosférické plyny, od 5 do 17 atomů kapaliny, zbytek tvoří polotuhé a tuhé látky.

Složení ropy:

- Uhlík 82 až 87 %
- Vodík 10 až 14 %
- Organické látky
  - Sirnaté 0,01 až 7 %
  - Kyslíkaté 0 až 7 %
  - Dusíkaté 0 až 2 %
- Pryskyřice a asfaltové látky
- Minerální látky (soli)
- Sloučeniny těžších kovů (např. vanadu)
- Voda a další nečistoty (zeminy, písek) [1]

Motorová nafta se řadí mezi střední ropné destiláty. S ohledem na to, že se vyrábí z ropy je nafta komplikovanou směsí alkanických, cyklanických a aromatických uhlovodíků s 12 až 22 atomy uhlíku v jedné molekule, která vře při 180 až 370°C.

Nejdůležitější vlastností nafty je její chování při nízkých teplotách. V průběhu roku se používá nafta s rozdílnými nízkoteplotními vlastnostmi, aby nedocházelo k zamrznutí v motoru. V létě se používá tzv. letní motorová nafta třídy B s filtrovatelností nižší než 0°C. V zimně se používá zimní motorová nafta třídy F s filtrovatelností menší než -20°C. Mezi těmito obdobími se využívá přechodové motorové nafty s filtrovatelností nižší než -10°C.

Součástí ropy jsou organické sirné sloučeniny. Pokud se během rafinace neodstraní, vyskytnou se i v motorové naftě. Dále jsou přítomny naftenové kyseliny, jejichž vlivem dochází v palivovém systému ke korozi a ke zvýšené tvorbě usazenin. Přítomnost síry v naftě se s ohledem na ekologičnost stále snižuje. Pod hranicí obsahu síry 500 mg/kg ztrácí nafta svou přirozenou mazací schopnost, což vede k poškozování vstřikovacích čerpadel vznětových motorů a také ke korozi výfukových ventilů. [14]

Vybrané fyzikální vlastnosti:

- Hustota při 15°C 800 až 845 kg/m^3
- Bod tání < -30°C
- Bod vzplanutí více jak 55 °C
- Teplota vznícení > 250°C

2.4.2.2. Rostlinné oleje (bionafta)

Získávají se např.: z olejné palmy, sóji, řepky olejné, slunečnice, bavlníku, podzemnice olejné, lnu, kukuřice, kokosu a jojoby. Nejvíce se vyrábějí oleje palmové, sójové, řepkové a slunečnicové. Produkce jednotlivých olejů je závislá mimo jiné i na klimatických podmínkách, např.: palmový olej se vyrábí v tropických oblastech. U nás převládá řepka olejka, z jednoho hektaru se získají přibližně 3 tuny semen, z nichž se vylisuje asi 1100 kg řepkového oleje.

Rostlinné oleje mají vysokou viskozitu, což způsobuje špatný rozstřik paliva ve válci motoru, mají také vysokou teplotu vzplanutí, vysokou teplotu tání, vyšší měrnou hmotnost, nižší výhřevnost, malou oxidační stabilitu a snadno polymerují. Viskozitu lze snížit ohřevem chladicí kapalinou z motoru, nebo elektrickým topením. K ohřevu dochází v palivové nádrži. Motory bývají u alternativních pohonných hmot kombinované, tzn., že mají dvě palivové nádrže, na naftu a alternativní palivo. Studený motor se spouští na naftu a teprve po zahřátí se přepíná na alternativní palivo. Bionafta hoří lépe než nafta, má nižší kouřivost, emise polétavého prachu, síry, oxidu uhličitého, aromatických látek a uhlovodíků.

Rozlišujeme dva druhy bionafty: I. a II. generace. Bionafta I. generace má nižší kalorickou hodnotu, to způsobuje nižší výkon a vyšší spotřebu paliva. Estery v ní obsažené způsobují korozi a bobtnání pryžových částí, což snižuje životnost motoru. Bionafta II. generace je směsná nafta, není to již 100 % bionafta. Výhřevnost této směsi je srovnatelná s naftou. Oproti bionaftě I. generace je daleko méně agresivní vůči pryži. [18]

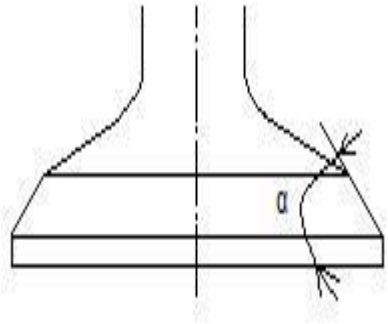
Rostlinný olej při styku s vodou a za vyšších teplot polymeruje a tvoří shluky polotuhých látek, které mohou ucpávat průtokové průřezy v palivovém systému. Při používání rostlinných olejů dochází k napékání a karbonizaci na vstřikovacích tryskách, pístech, ventilech atd. Tím se zhoršují výkonové parametry, které mohou vést i k poškození motoru. Pro eliminaci těchto problémů se před zastavením motoru palivový systém plní motorovou naftou. Hlavní výhodou bionafty je netoxičnost a dobrá biologická odbouratelnost. Z hlediska požární bezpečnosti je výhodná její nesnadná zápalnost. [12]

Vybrané fyzikální vlastnosti:

- Hustota 0,88 g/cm^3
- Výhřevnost 37,3 MJ/kg
- Bod vzplanutí 91 až 135 °C
- Kinematická viskozita při 20°C 7,4 mm^2/s

2.5. Motorové ventily

Pro otevírání a zavírání výfukového a sacího kanálu se využívají ventily, ovládané vačkovými hřídeli. Ventily jsou vysoce namáhané součásti motoru, které společně s díly rozvodového ústrojí obstarávají cyklickou výměnu spalovací směsi obsahu válců. Jedná se tedy o mechanická zařízení, regulující průtok spalované směsi. Rozdíl mezi sacím a výfukovým ventilem spočívá v průměru talířů. Výfukový ventil má robustnější talíř. Sací ventil má o něco větší průměr talířů. Výfukové ventily jsou opatřeny na čele návarem, kdežto ventily sací jsou bez návaru. Na obr. 2 je znázorněn úhel sedla, který bývá 45°, nebo pro plynové motory 30° i méně. Tímto se docílí snížení měrného tlaku v sedle. Rychlosti proudícího média dosahují až 100 m.s^{-1} u sacího ventilu u výfukového je rychlost plynu vyšší.



Obr. 2. Úhel sedla ventilu a ventily

Na ventily působí setrvačné síly a extrémní tlaky až 15 MPa spalovacího procesu pří korozním působení spalin a teplot až kolem 1000 °C. Ventily jsou vlivem horkých spalin náchylné k erozi a korozi, hlavně v místě přechodu hlavy do stopky výfukového ventilu. Na správné funkčnosti ventilu je závislá nastavená emisivost a výkon motoru. Štěrbinový efekt žhavých spalin při nedokonalém sazení dokáže časem propálit ventil z jakéhokoliv materiálu, proto se sedla ventilů opatřují kobaltovými návary.

2.5.1. Rozdělení ventilů

Ocelové ventily se rozdělují do čtyř skupin pro vznětové a zážehové motory.

a) *Monometalické*

b) *Bimetalické*

c) *Trimetalické*

d) *Duté (chlazené)*

Monometalické ventily se používají jako sací ventily pro teploty do 600 °C. Materiálem těchto ventilů jsou chromové kalitelné oceli, které mají označení S a O. Značení je uvedeno v tabulce 4.

Bimetalické ventily mají dřík z chromové oceli svařený natupo třením nebo odporově s hlavou z austenitické oceli bez návaru sedlové plochy. Používá se pro menší uzavírací tlaky na sedlech při vysokém tepelném zatížení. Austenitické oceli s návarem na sedlové a stopkové kontaktní ploše pro maximální tepelná zatížení přes 700 °C jsou materiálově úspornější.

Trimetalické ventily mají úsporněji řešenou stopku a dřík z kalitelné chromové oceli. Jsou charakteristické svou odolností vůči provozním poměrům. Hlava z austenitické oceli je opatřena návarem.

Duté ventily mohou být v podstatě čtyřmetalické, protože dutinou v hlavě až po stupku obíhá většinou chladicí tekutý kov (Na). Používají se pro největší tepelná zatížení např. u sportovních vozů.

Ozn.mat.	S	O	A	RA	R	I
DIN17 007	1.4718	1.4748	1.4871	1.4882	1.4785	2.4952
DIN 17 006	X45CrSi 93	X85CrMo V182	X53CrMN NiN 21 9	X50CrMn NiNbN	X60CrMn MoVNbN	NiCr20 TiAl
ČSN	17 115		17 465			
C	0,4 – 0,5	0,8 – 0,9	0,48 – 0,58	0,45 – 0,55	0,58 – 0,65	Max.. 0,1
Si	2,7 – 3,3	max. 1,0	max. 0,25	max. 0,45	max. 0,25	max. 1,0
Mn	max. 0,8	max. 1,45	8,0 – 10,0	8,0 – 10,0	9,5 – 11,5	max. 1,0
Cr	8,0 – 10,0	16,5 – 18,5	20,0 – 22,0	20,0 – 22,0	20,0 – 22,0	18,0 – 21,0
Ni	max. 0,5	max. 0,5	3,25 – 4,5	3,5 – 5,0	max. 1,5	Zbytek
Mo	-	2,0-2,5	-	-	0,75 – 1,25	-
W	-	-	-	0,8 – 1,5	-	-
V	-	0,25– 0,35	-	-	0,75 – 1,0	-
Co	-	-	-	-	-	Max. 2,0
Al		-	-	-	-	1,0 - 1,8
Ti	-	-	-	-	-	1,8 – 2,7
Nb	-	-	-	1,8 – 2,5	1,0 – 1,2	-
N	-	-	0,38-0,50	0,40 – 0,60	0,40 – 0,60	-
S	max. 0,03	max. 0,03	max. 0,03	max. 0,03	max. 0,03	Max. 0,015
P	max. 0,04	max. 0,04	max. 0,04	max. 0,04	max. 0,04	Max. 0,02
Fe	Zbytek	zbytek	Zbytek	zbytek	zbytek	Max. 3,0

Tab. 4. Označení chromových kalitelných ocelí.

2.5.2. Materiály ventilů

Požadavky na materiály ventilů spalovacích motorů jsou následující: vysoká korozivzdornost, pevnost a otěruvzdornost za žáru a rozměrová stabilita a lomová odolnost. Z hlediska provozních teplot jsou jako nejvhodnější materiály pro výrobu ventilů využívány austenitické oceli nebo slitiny NIMONIC. Jejich hlavní výhody jsou požadované mechanické a korozní vlastnosti. Oceli mají obsah uhlíku

kolem 0,5 %. Používají se oceli, které jsou vysoce legované Mn a N oproti klasickým CrNi ocelím. [4]

Austenitická ocel je vhodná pro podmínky intenzivního opotřebení za velkých tlaků a rázů. Proto se tyto oceli používají tam, kde je požadována vysoká vrubová houževnatost v podmínkách dynamického zatížení. Z těchto důvodů se používá pro výrobu motorových ventilů. [23]

Aby byla zaručena požadovaná homogenní austenitická matrice obsahující Cr která je dostatečně korozivzdorná, legují se oceli vysokým obsahem Mn a N. Obsah Cr nesmí překročit mez kdy se v matrici začne vytvářet intermetalická sigma fáze, která způsobuje křehkost oceli. Vysoké pevnosti a odolnosti proti opotřebení oceli se dosahuje kombinací Fe, Mn, Cr, N a 0,5 % obsahu uhlíku. Na sedlové plochy výfukových ventilů působí vysoké teploty spalin okolo 1000 °C. Uvedená ocel nezaručuje odolnost proti takto vysokým teplotám. Z tohoto důvodu se sedla ventilů opatřují vysokouhlíkovými návary, většinou na bázi Co (tab. 4) a stabilních karbidů W a Cr. [4]

Materiály, které se používají na výrobu motorových ventilů, jsou upravovány normou ČSN EN 10090. Dle normy se jedná o legované ušlechtilé oceli, které se rozdělují podle chemického složení do dvou skupin:

a) *Martenzitické oceli*

Využívají se na výrobu sacích ventilů a na dříky výfukových ventilů.

b) *Austenitické slitiny*

Používají se převážně na výfukové ventily.

V příloze 01 v tabulce 1 jsou uvedeny materiály a jejich chemické složení (rozbor tavby) z dané normy, dále informativní hodnoty pevnosti v tahu při vyšších teplotách v tabulce 2 a informativní hodnoty smluvní meze kluzu v tabulce 3. [7]

2.5.3. Změny v materiálu

Stopka výfukových ventilů je chromovaná, kluzně se pohybuje v litinovém vodítku uloženém v hlavě válců. U této kluzné dvojice se musí dbát na to, aby

nedocházelo k jejich vzájemnému tření. Tomuto lze zabránit vhodnou volbou geometrie uložení, rotace a mazání za zvýšených teplot.

V důsledku působení mezních teplot dochází k časové nestabilitě struktury austenitických ocelí. Při delší expozici za teplot kolem 600 až 800 °C se vylučují jemné karbidy Cr po hranicích zrn, čímž dochází ke snížení korozivzdornosti a žáruvzdornosti. [4]

2.6. Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli

Patří do skupiny tzv. ocelí se zvláštními vlastnostmi. Do této kategorie se řadí především konstrukční oceli s vysokým obsahem slitinových prvků. Označují se jako oceli třídy 17, které mají význačné mechanické vlastnosti projevující se za vysokých nebo nízkých teplot. Vyznačují se i některými zvláštními vlastnostmi chemickými a fyzikálními. Kromě korozivzdorných a žáruvzdorných ocelí se dále dělí na žáropevné, opotřebení vzdorné a se zvláštními fyzikálními vlastnostmi. V tabulce 5 je uvedeno základní rozdělení ocelí třídy 17.

Označení oceli	Přísadová skupina
17 0XX	Oceli chrómové
17 1XX	Oceli chrómové s dalšími přísadovými prvky (Al, Mo, Ni aj.)
17 2XX	Oceli chrómoniklové, popř. stabilizované Ti, Nb aj.
17 3XX	Oceli chrómoniklové, popř. stabilizované Ti, Nb aj. s dalšími přísadovými prvky (Mo, V, W aj.)
17 4XX	Oceli manganochrómové
17 5XX	Oceli niklové
17 6XX	Oceli manganové
17 7XX	Oceli manganoniklové
17 8XX	Oceli se zvláštními kombinacemi přísadových prvků

Tab. 5. Rozdělení a označování ocelí třídy 17 podle ČSN.

a) *Korozivzdorné oceli*

Dobře odolávají korozi v oxidačních prostředích, mají vždy nejméně 12% chromu, jako přísady se používají mangan a nikl, popř. další prvky. Jedná se o korozi elektrochemickou.

b) *Žáruvzdorné oceli*

Odolnost ocelí v plynech za teplot nad 600 °C. Nejsou schopny dlouhodobě přenášet větší mechanické zatížení na rozdíl od žáropevných ocelí. Jde převážně o korozi chemickou.

Žáruvzdorné a korozivzdorné oceli mají hodně společných znaků a přechod mezi nimi je plynulý, proto je nelze od sebe jednoznačně oddělit. Dělíme je dle chemického složení na chrómové, chrómniklové a chrómomanganové.

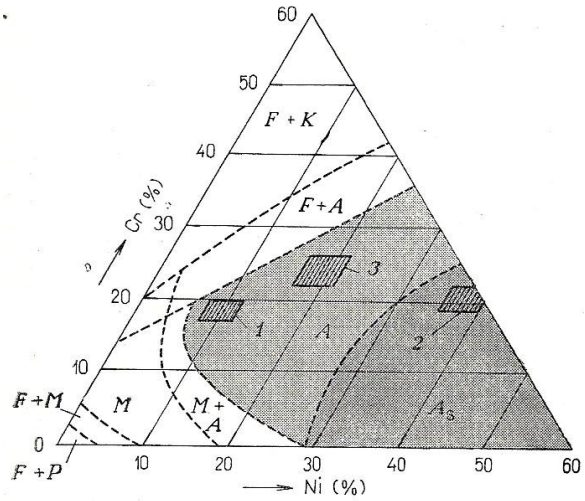
Chrómové oceli

Hlavním legujícím prvkem je zde chrom, který tvoří s železem tuhý roztok s neomezenou rozpustností, ovšem za nižších teplot vznikají při dané koncentraci intermediální sloučeniny. Korozivzdorné chrómové oceli spadají do skupiny kalitelných, které je možné ohřevem plně austenitizovat a ochlazením zakalit a feritické, které jsou nekalitelné ty nelze převést ohřevem na austenit. Homogenního austenitu se dosahuje dostatečným ohřevem v rozmezí teplot 1000 až 1100 °C, kdy se rozpouští karbidy chromu. Při vyšších teplotách by došlo ke zhrubnutí zrna.

Chrómniklové oceli

Nikl ve slitinách s železem zvětšuje oblast gama fáze a přitom snižuje teplotu přeměny gama – alfa i teplotu Ms. Z toho vyplývá, že slitiny s vyšším obsahem niklu mají teplotu Ms hluboce pod teplotou okolí a austenitickou strukturu. Chrom má opačný vliv než nikl. Na obr. 3 je znázorněna struktura chromniklových ocelí s 0,1 % C po ochlazení do vody z teploty 1100 °C v závislosti na obsahu chromu a niklu. Metastabilní austenit lze za určitých podmínek, např. tvářením nebo vzájemným vlivem tváření a zmrazení, přimět k přeměně. Oceli vyskytující se

v oblasti stabilního austenitu si za všech podmínek ponechávají svou austenitickou strukturu. Austenitické oceli se používají po vyžíhání na 1000 až 1100 °C a zchlazení do vody.



Obr. 3. Rovnovážný diagram Fe – Cr – Ni.

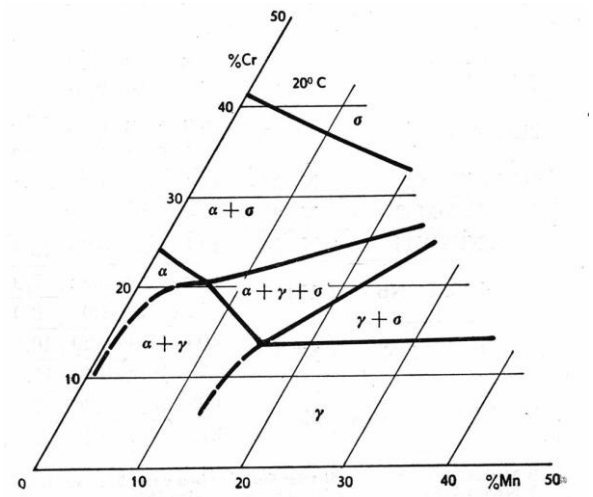
Pro techniku význačné žáruvzdorné a korozivzdorné oceli leží svým složením v oblasti stabilního austenitu. Chrómoniklové oceli se od ocelí chrómových dají odlišit pomocí zkoušky magnetem, protože chrómniklové oceli nejsou feromagnetické. Na rozdíl od ostatních konstrukčních ocelí mají velmi dobrou plasticitu (vysoká tažnost, kontrakce, vrubová houževnatost) a nízký poměr meze kluzu k pevnosti. Nelze je zušlechťovat, protože u nich nedochází při ohřevu a ochlazování k překrystalizaci. Značného zpevnění lze docílit tvářením zastudena.

Pokud na strukturu austenitických ocelí působí dlouhodobě pracovní teplota v rozmezí 500 až 800 °C, dochází k ovlivnění struktury (např. dochází k vylučování některých karbidů a intermetalické fáze). Dochází ke změnám vlastností, hlavně mechanických a korozních. Vylučují se především karbidy chrómu po hranicích zrn, tím u oceli dochází ke sklonu k mezikrystalové korozi. Karbidy také zmenšují tvárnost za tepla i zastudena, také tažnost a vrubovou houževnatost. [5]

Chrómomanganové oceli

Žíhání u chrómomanganových ocelí se provádí také v rozmezí teplot 1000 až 1100 °C a rychle se chladí. Austenit chrómomanganových ocelí se stává

stabilnější, čím více se vzdaluje od hranice oblasti α + γ. Na obr. 4 je rovnovážný diagram Fe – Cr – Mn.



Obr. 4. Rovnovážný diagram Fe – Cr – Mn při 20 °C.

Na nemagnetické součásti, které mají být po tváření za studena v podstatě paramagnetické, se používají právě chrómomanganové oceli se stabilnějším austenitem. U těchto ocelí může dojít stejně jako u chromoniklových k vylučování karbidů na rozhraní zrn austenitu a k následné mezikrystalové korozi. Ovšem u chromomanganových ocelí se mezikrystalová koroze prakticky nevyskytuje, protože tyto austenitické oceli všeobecně odolávají jen neagresivním prostředím, a ty nezpůsobují danou korozi. Přidáním niklu nám vznikne chromniklmanganová ocel, která je antimagnetická, antikorozní, má stabilnější austenit a snáší velké zpevnění tvářením zastudena, aniž by se stala feromagnetickou. Žáropevné chrómomanganové oceli se stabilizují titanem nebo niobem, aby nedocházelo k jejich křehnutí. [6]

V tabulce 6 je porovnání vlastností korozivzdorných a žáruvzdorných ocelí s uhlíkovými. Jedná se o oceli Cr – chromové, Cr-Ni – chromoniklové, Mn-Cr – manganochrómové a uhlíkové. [5]

Typ oceli	Cr		Cr-Ni	Mn-Cr	Uhlíková
Schopnost fázové přeměny	kalitelné	Feritické nekalitelné	Austenitické – nekalitelné		kalitelné
Součinitel tepl. roztažnosti na 1°C	11,8 až 12,4 * 10^{-6}		16 až 19 * 10^{-6}		10 až 12 * 10^{-6}
Magnetické vlastnosti	Feromagnetické		Paramagnetické		Feromagnetické
Obrobitelnost	Úměrná pevnosti a obsahu Cr		Obtížná (následkem velké schopnosti zpevnění)		Dobrá
Svařitelnost	Svařitelná při malém obsahu C	Svary málo houževnaté	Svary velmi houževnaté		Dobrá do 0,2%C
Odolnost proti korozi	Odolávají rezavění, dále HNO_3, jinak jen slabým kyselinám		Vysoká, odolávají i silnějším kyselinám	Dobrá, odolává rezavění a jen velmi slabým kyselinám	Neodolává
Žáruvzdornost	Poměrně dobrá, dle složení max. do 1200°C		Horší, dle složení max. 1200°C	Omezená vlivem Mn max. do 650°C	Nevyhovující nad 375°C

Tab. 6: Porovnávání vlastností.

2.7. Nedestruktivní testování ocelí

Nedestruktivní testování v sobě zahrnuje defektoskopii a nedestruktivní strukturoskopii. Pro diagnostiku ventilů pístových motorů se využívá magnetická strukturoskopie a ultrazvuková defektoskopie.

2.7.1. Magnetické vlastnosti

Magnetické vlastnosti látek jsou charakterizovány skalárními veličinami magnetickou permeabilitou μ a magnetickou susceptibilitou κ. Magnetická permeabilita materiálu je fyzikální veličina, udávající míru magnetizace v důsledku působení magnetického pole. Permeabilita určuje reakci daného prostředí na silové účinky magnetického pole. Magnetická susceptibilita je fyzikální veličina udávající chování materiálu ve vnějším magnetickém poli. Podle těchto veličin se magnetické vlastnosti rozdělují do tří základních skupin.

a) *Diamagnetické, $\kappa < 0$; $\mu < 1$*

Relativní permeabilita je o něco menší než 1, z toho vyplývá, že tyto látky mírně zeslabují magnetické pole. K diamagnetickým látkám patří např. vodík, inertní plyny, grafit a řada kovů (měď, zinek, zlato, hořčík,…). Diamagnetická látka je odpuzována od magnetu. Diamagnetismus zanedbatelným vlivem spolupůsobí i při paramagnetismu a feromagnetismu.

b) *Paramagnetické, $\kappa > 0$; $\mu > 1$*

Permeabilita je nepatrně větší než 1, z toho plyne, že tyto látky slabě zesilují magnetické pole. Paramagnetická látka je k magnetu přitahována a sama přitahuje malé kovové předměty jen v případě, že se sama vyskytuje v blízkosti magnetu. Nelze ji trvale zmagnetizovat. K paramagnetickým látkám patří např. kyslík, soli železa a kobaltu, alkalické kovy, hliník, draslík a platina.

c) *Feromagnetické, $\kappa >> 0$; $\mu >> 1$*

Feromagnetické látky výrazně zesilují magnetické pole. Magnetické pole uvnitř látky zůstane, i když na něj už nepůsobí vnější pole. Feromagnetickou látku jde trvale zmagnetovat. Při překročení Curierovy teploty, ztrácí látka feromagnetické vlastnosti a stává se paramagnetickou. Z feromagnetických látek se vyrábějí jádra cívek. [9]

2.7.2. Impulzní magnetická strukturoskopie

Energeticky nejvýhodnější stav oceli v dané oblasti se nazývá magnetická doména, v níž jsou magnetické momenty orientované určitým směrem. To je typické právě pro feromagnetické materiály. Na vzniku feromagnetismu se podílí jen elektrony z částečně zaplněných pásů d nebo f. Tyto pásy mají volné hadiny, které mohou být obsazeny a mají vysokou hustotu možných stavů. Domény se liší od zrn polykrystalického kovu. Domény tvoří jakási subzrna v zrnech struktury. Jendo zrno, obsahuje několik domén, neboli má tzv. doménovou strukturu. Šířka domén závisí na magnetických vlastnostech materiálu. [10]

Principem této zkoušky je lokální měření zbytkového magnetismu Hm s balistickým (impulzním) způsobem magnetizace. Pomocí polarizace vnějším magnetickým polem rostou domény posunem tzv. Blochových zón a polarizací, shodnou s vnějším magnetickým polem, nebo dochází ke skokové změně polarizace, tzv. Barkhausenovými přeskoky. Po přerušení působení vnějšího magnetického pole Ho se ne všechny domény vrátí do původního stavu a tím vzniká remanentní polarizace Ir. Zmagnetovaná část má vlastní magnetické pole o intenzitě Hr. Atomy feromagnetika vázané v molekulách a atomární napětí mřížkové poruchy brání vratným změnám. Proto vysokou hodnotu remanentní polarizace Ir vykazují složky struktury, obsahující karbid železitý, martenzit, četné dislokace a hranice zrn.

$$Hr = Ho – N * Ir/ \mu$$

N je demagnetizační činitel, charakterizující vnější i strukturní geometrické poměry rozhraní feromagnetika.

Impulzivní magnetické pole o intenzitě Ho působí na zkoušené místo výrobku. Tvar proudového impulzu vedený do příložné silové cívky, případně přesně definovaný jejich sled, definuje tok parazitních vířivých proudů a strukturně selektivní citlivost metody. Parazitní vířivé proudy lze využít k potlačení negativních vlivů demagnetizačního činitele N. Jako snímač intenzity Hr se používá Hallova nebo Försterova sonda.

$$Hr = \Sigma m * ti * dHri$$

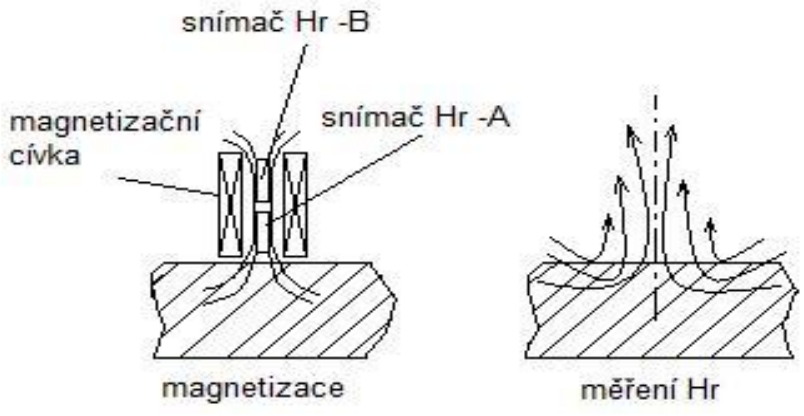
dHri představuje příspěvek jednotlivých zrn feromagnetika k hodnotě výsledné intenzity Hr. dHri závisí na stínícím účinku m a jejich vzdálenosti ti

od snímače. Vliv jednotlivých zrn na intenzitu klesá s hloubkou vzniku magnetizačního pole. Vliv jednotlivých zrn na Hr, klesá s hloubkou průniku magnetizačního pole. Hodnota tohoto průniku v praxi je 12 mm. Ve stěnách, které jsou tenké, se energie pulzu soustředí do malého objemu zrn.

Oceli a litiny patří mezi nejrozšířenější konstrukční materiály, jimž v drtivé většině můžeme přisoudit feromagnetické vlastnosti.

2.7.3. Metoda magnetické skvrny

Metoda magnetické skvrny dokáže bez demontáže určit, jestli byla austenitická ocel ventilů tepelně zatěžována a jestli došlo ke strukturním změnám. Tím dochází ke křehnutí materiálu. Lokálně měří zbytkový magnetizmus Hm s balistickým (impulzním) způsobem magnetizace. Atomární momenty feromagnetických látek jsou vždy uvnitř magnetických domén a jsou vzájemně paralelní, ale domény mají mikroskopické rozměry. Sousední domény jsou zmagnetovány do různých směrů a makroskopicky se jejich působení kompenzuje nebo uzavírá. Situace se změní působením vnějšího magnetického pole Ho. Na obr. 5 je znázorněn vznik magnetické skvrny magnetizační cívkou.



Obr. 5. Vznik magnetické skvrny magnetizační cívkou.

Impulzní magnetické pole o intenzitě Ho působí na zkoušené místo výrobku. Proudový impuls vede do příložné silové cívky, případně přesně definovaný sled definuje tok parazitních vířivých proudů a strukturně selektivní

citlivost metody. Jako snímač intenzity magnetického pole Hr se používá Hallova nebo Försterova sonda. S hloubkou průniku magnetizačního pole klesá vliv jednotlivých zrn na Hr. Metoda magnetické skvrny se provádí na přístroji Doména. [17]

2.7.4. Ultrazvuková kontrola

Ultrazvuková kontrola se používá ke kontrole kvality návaru a rozhraní návaru se základním materiálem výfukových ventilů. Je možné lokalizovat vnitřní vady o velikosti 0,5 mm.

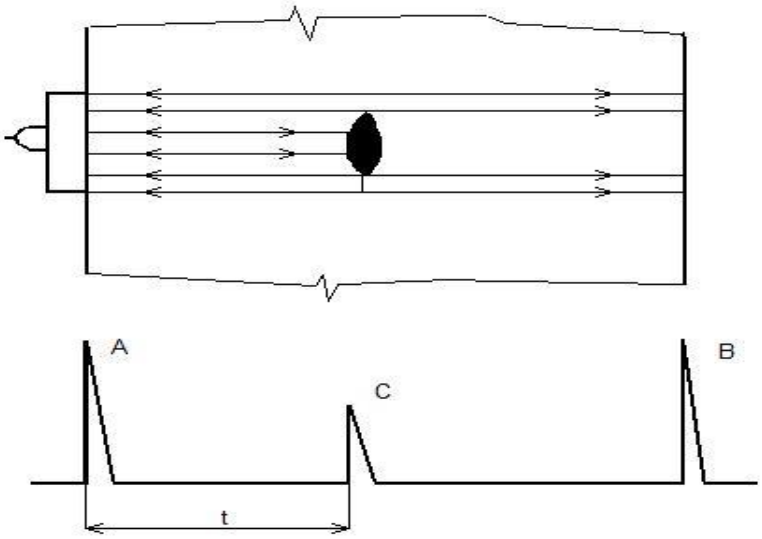
Ultrazvuk lze chápat jako zvukové vlny o všech frekvencích šířící se prostředím, které je částečně elastické. Vlnění je vlastně kmitavý pohyb částic okolo jejich rovnovážných poloh. V defektoskopii se používá především podélné a příčné vlnění. Slyšitelný zvuk je v rozmezí od 16 Hz do 20 kHz. Infrazvuk je vlnění pod prahem slyšitelnosti tedy pod 16 Hz. Ultrazvuk je vlnění nad prahem slyšitelnosti tedy nad 20 kHz.

Ultrazvukem lze v materiálu určit jen tu vadu, jejíž příčné rozměry, kolmé na směr šíření vlny, jsou větší než poloviční délka vlny. Pokud je vada menší, dochází k ohybu ultrazvukových vln a vadu nelze zjistit. K zeslabování ultrazvukových vln dochází při pohlcování vln průchodem látkou, tzv. absorpcí, což je způsobeno vnitřním třením kmitajících částic. [16]

Hlavy výfukových ventilů jsou v sedlové ploše opařeny návarem značeným P37. Návar se provádí technikou navařování drátem (obloukem) nebo práškem (plazma) postupným navařováním. Místo, kde se překrývá návar se základním materiálem je kritické. Jedná se o oblast s nejvyšší pravděpodobností vzniku vad. Tyto vady nelze obvykle zjistit vizuálně, proto se používá ultrazvuková kontrola návaru. Vady typu tytu studeného spoje nebo trhliny jsou lokalizovány vadovými echy. Studený spoj se projevuje nespojitým rozhraním dvou materiálů s různým akustickým vlnovým odporem. Zkoušky se provádějí metodou odrazovou s imerzní vazbou miniaturní sondou. [4]

Metoda odrazová

Odrazová metoda je nejpoužívanější. Do kontrolního předmětu jsou vysílány krátké ultrazvukové impulsy, které se od povrchu předmětu a jeho vnitřních vad odrážejí, jak je znázorněno na obr. 6. Tato metoda je velmi citlivá a výsledky dobře reprodukovatelné. Stačí mít jen jednu přístupovou stranu zkoušeného předmětu. [16]



Obr. 6. Odrazová metoda.

A-počáteční echo, B-konečné echo, C-echo vady, t-úsek vyznačující na časové základně dobu, za kterou prošel ultrazvukový impuls od povrchu k vadě a zpět.

2.8. Produkty společnosti TEDOM s.r.o.

Společnost TEDOM s.r.o. má již dlouholeté zkušenosti s výrobou motorů a kogeneračních jednotek. Motory, které se používají hlavně v energetice, spalují zemní plyn i alternativní plynná paliva (bioplyn, skládkový plyn, čistírenský plyn, důlní plyn). Vozidlové motory spalující zemní plyn nebo naftu pohání nákladní automobily, autobusy, vlaky a lodě. Následně jsou zde podrobněji popsány dva motory této společnosti a další motory, z nichž byly zkoumané ventily, jsou zaznamenány v teoretické části u příslušného ventilu.

2.8.1. Plynový motor

Plynný motor s označením TEDOM TG 210 AV TA 04 je stojatý vozidlový motor plně řízený elektronickou řídící jednotkou. Jde o čtyřdobý, zážehový, kapalinou chlazený šestiválec s vefukováním plynu do sacího kanálu každého válce. Motor je přeplňovaný turbodmychadlem, v zástavbě s chlazením plnícího vzduchu a oxidačním katalyzátorem. Nasávaný vzduch je stlačován kompresorem turbodmychadla poháněného výfukovými plyny. Plnicí vzduch je ochlazován přibližně na teplou pod 50°C v mezichladiči typu vzduch – vzduch. V tabulce 7 jsou uvedeny hlavní technické údaje daného motoru.

Motor typ		**TG 210 AV TA 04**
Hlavní údaje	**Jednotky**	
Počet válců		6
Vrtání	mm	130
Zdvih	mm	150
Zdvihový objem	cm^3	11 946
Kompresní poměr		11,1:1
Pořadí zážehu		1-5-3-6-2-4
Výkonové údaje		
Čistý výkon	kW	210
Při otáčkách	1/min	2000
Max. točivý moment	Nm	1200
Při otáčkách	1/min	1200-1500
Vnější rychlostní charakteristika		61-1-1372
Palivo		CNG – zemní plyn

Tab. 7. Technické údaje motoru TG 210 AV TA 04.

Pravidelný a hlavně spolehlivý chod vozidlového motoru je dán tím, že pracuje v širokém rozmezí počtu otáček. Ke změně momentu dochází při každém počtu otáček, v příslušných možných mezích.

2.8.2. Naftový motor

Motor s označením TEDOM TD 242 RH TA 02 je naftový, čtyřdobý, řadový kapalinou chlazený šestiválec s přímým vstřikem paliva, přeplňovaný turbodmychadlem, s mezichladičem plnícího vzduchu. Plný výkon motoru lze odebírat ze setrvačníku. Výkon do 150 kW/1950 min^{-1} lze odebírat z předního konce klikového hřídele. V tabulce 8 jsou hlavní technické údaje tohoto naftového motoru. [3]

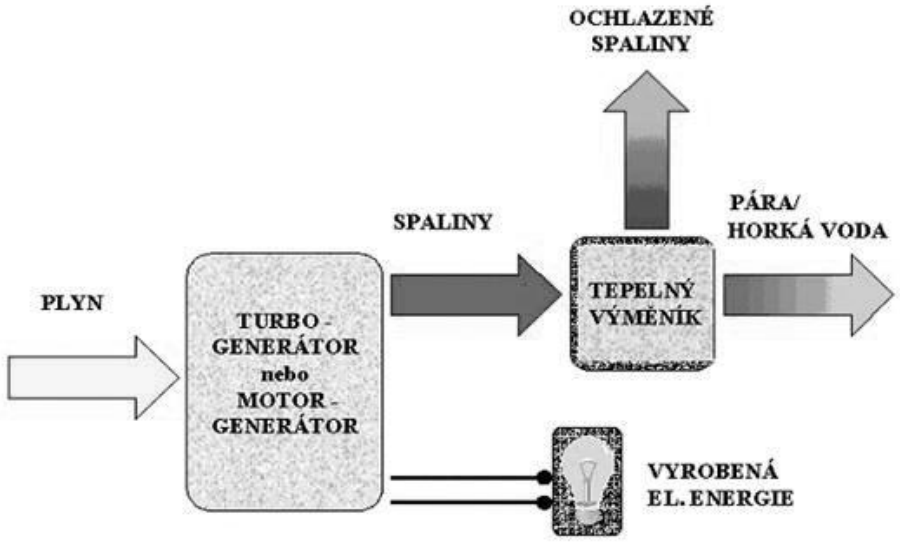
Motor typ		**TD 242 RH TA 02**
Hlavní údaje	**Jednotky**	
Počet válců		6
Vrtání	mm	130
Zdvih	mm	150
Zdvihový objem	cm^3	11 946
Kompresní poměr		15,9 : 1
Pořadí vstřiků		1-5-3-6-2-4
Výkonové údaje		
Čistý výkon	kW	242
Při otáčkách	1/min	1950
Max. točivý moment	Nm	1600
Při otáčkách	1/min	1300
Vnější rychlostní charakteristika		61-1-1355
Palivo		Motorová nafta

Tab. 8. Technické údaje motoru TD 242 RH TA 02.

2.8.3. Kogenerační jednotka

Kogenerační jednotka spalováním paliva vyrábí elektrický proud a teplo. Elektřina vyrobená kogenerační jednotkou se může použít pro vlastní spotřebu, nebo dodávat do sítě. Teplo se využívá k vytápění budov, nebo k ohřevu vody. Principem získávání elektrické energie a tepla pomocí kogenerační jednotky je, že

elektrickou energii vyrábí generátor a teplo se získává z chlazení spalovacího motoru, mazacího oleje a spalin. Na obr. 7 je jednoduché schéma kogenerační jednotky. Motory, které se používají v kogeneračních jednotkách, spalují převážně zemní plyn. Jako alternativní paliva lze využívat skládkový plyn, důlní plyn a bioplyn zemědělský. Kogenerační jednotky je možno nasazovat v nemocnicích, zemědělství, při městských skládkách, průmyslových závodech, školách, bazénech, atd. [3]



Obr. 7. Schéma kogenerační jednotky.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Předmětem zkoumání této práce jsou poškozené ventily (reklamované, vyřazené z provozu v rámci oprav po záruce). Ventily byly zabudovány do motorů společností LIAZ až TEDOM s.r.o. Výrobcem ventilů byla firma PRAGA Hrádek nad Nisou, v současnosti TRW DAS Dačice. Veškeré informace o vadách ventilů a jejich následné zhodnocení bylo získáno ze 41 expertíz.

Tyto ventily mají různou délku doby provozu. V tabulce 9 a 10 jsou základní charakteristiky materiálů, z nichž jsou dané ventily zhotoveny a také chemické složení stelitového návaru

Díl ventilu	Materiál ventilu	Pevnost Rm / tvrdost MPa
Dřík	EN 1.4718 (ČSN 17 115) X45CrSi9-3	min. 883; max. 1 030 MPa
Hlava	EN 1.4871 (ČSN 17 465) X53CrMnNiN21-9	min. 1000; max. 1470 MPa
Návar	P37S	40 HRC

Tab. 9. Charakteristika materiálu

Značení ČSN	**C**	**Si**	**Mn**	**Cr**	**Ni**	**N**	**P**	**S**
17 465	0,48 0,58	<0,45	8 10	20 22	3,25 4,5	0,3 0,5	< 0,05	< 0,035
17 115	0,4 0,5	2,8 3,5	< 0,8	8 10	-	-	< 0,04	< 0,03
Návar	C	Co	Ni	Cr	W	Si	Fe	
P37	1,75	40	22,5	25,5	12,25 max.	1,1	1,3	

Tab. 10. Chemické složení

V této kapitole jsou uvedeny informace o ventilech, které byly zamontovány do plynových a naftových motorů. Tyto informace byly získány z 16 expertíz pro plynové motory a z 25 expertíz týkajících se naftových motorů.

Aby bylo možné porovnat rozdíly v degradaci materiálu ventilů, je nutno přepočítat dobu provozu motoru, která je uvedena u kogeneračních jednotek v hodinách na kilometry. Udávaný přepočet je dán vztahem, jedna hodina odpovídá 50 ujetým kilometrům. Proto jsou v tabulkách uvedených v příloze 02 udány i přepočtené údaje v kilometrech. Bohužel u některých zpráv nebyla doba provozu udána. [6.2]

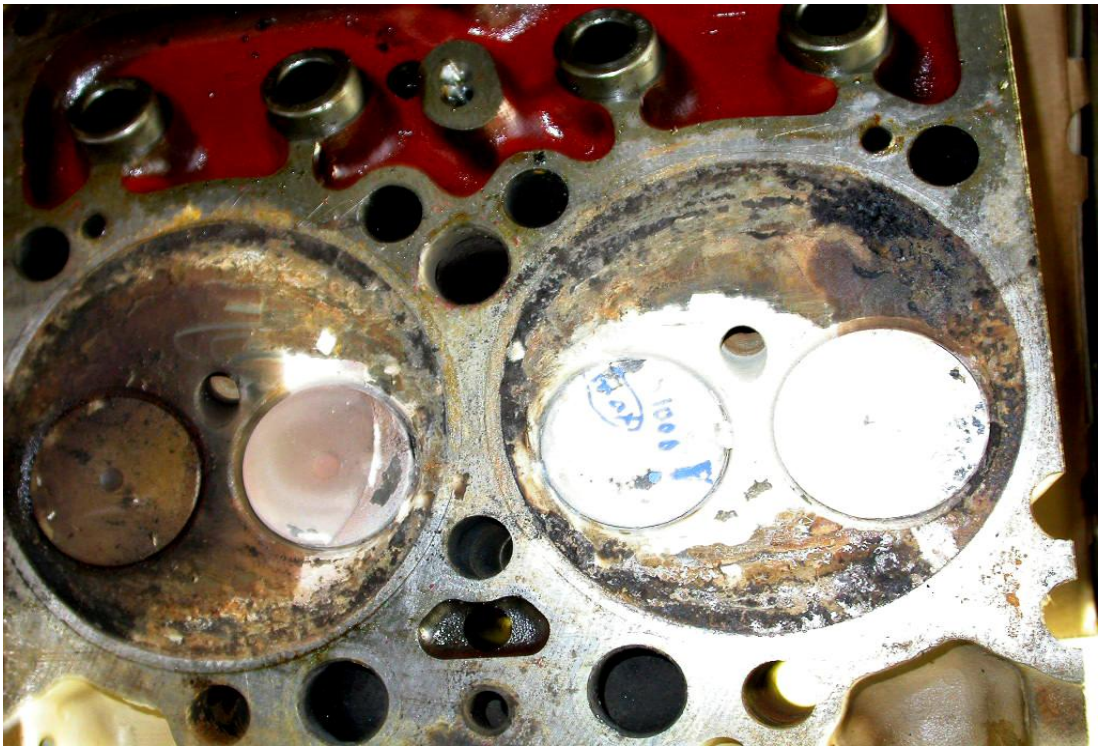
Jednotlivé tipy závad jsou blíže popsány v následující kapitole. Informace jsou čerpány z již zmiňovaných tabulek pro plynové a naftové motory, uvedené v příloze 02. Rozdíly četností poruch ventilů mezi plynovými a naftovými motory jsou přehledně znázorněny ve sloupcových grafech.

3.1. Odlišnosti degradace ventilů plynových a naftových motorů

3.1.1. Tepelné zatěžování motoru

Tepelné zatěžování ventilu se zjišťuje pomocí přístroje DOMENA. Tento přístroj měří hodnotu zbytkového magnetizmu, naměřené hodnoty jsou úměrné tepelnému zatížení. Vychází se z toho, že austenitické oceli v původním stavu, které neprošly degradačním procesem (bez tepelné a mechanické zátěže), jsou paramagnetické. Hodnoty M do 10 A/m. Teprve vlivem provozní teplotní degradace, kdy dochází k vylučování feritu a křehnutí za tepla, začne materiál vykazovat jistou feromagnetičnost. Hodnoty kolem M 100 A/m odpovídají obvyklému provozu 50 000 až 100 000 km. Přístroj DOMENA používá k měření metodu magnetického bodového pólu. Příložná sonda změří intenzitu remanentního magnetického pole kontrolovaného objemu materiálu dané součásti. Jeho hodnota je přímo závislá na pevnosti, hloubce prokalení, tvrdosti, množství magneticky tvrdých strukturních složek jako perlit, cementit, bainit, apod. Jeho hlavní výhodu je spolehlivost, výkonnost, krátká doba měření a nenáročnost při obsluze. Lze ho použít přímo při servisních prohlídkách hlav válců nedemontovaných ventilů. Na obr. 8 je ukázána hlava válců společně s ventily, které se nemusejí demontovat, aby mohlo dojít

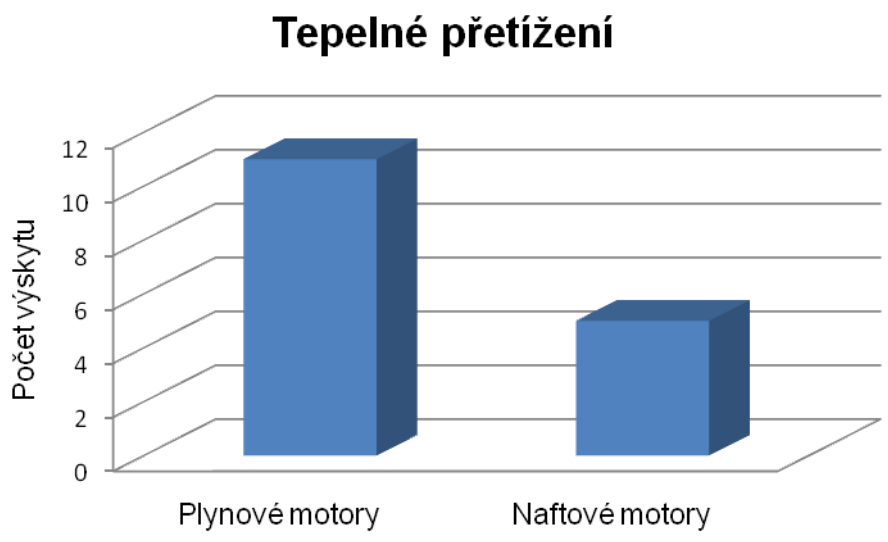
k měření remanentního magnetizmu. V příloze 03 je uvedena v tabulce 1 návodka pro měření přístrojem DOMENA a na obr. 1 fotografie daného přístroje. [6.3]



Obr. 8. Hlava válců společně s ventily.

Tepelným zatěžováním motoru dochází u ventilů k degradaci materiálu. Pokud je ventil z austenitického materiálu dlouhodobě vystaven vyšším teplotám, dochází ke strukturním změnám, které vedou ke křehnutí materiálu. Z toho plyne, že jsou ventily náchylnější ke vzniku lomu.

V následujícím sloupcovém grafu 1. je znázorněn počet ventilů, které byly teplotně přetíženy. Je patrné, že nejvíce tepelně zatěžovaných ventilů pochází z plynových motorů. Celkový poměr je 11 ventilů z plynových a 5 z naftových motorů. Ventily vystavené teplotnímu přetížení u plynových motorů jsou uvedeny v příloze 02 (6.2) v tab. 1, pod označením ventilů *A, B, C, D, E, M, N, O, P, Q, V*. Naftové motory jsou také v příloze 02 v tab. 2, pod označením ventilů *A, J, P, X,BB*.



Graf 1.Tepelné přetížení.

U plynových motorů se teplotní přetížení u jednotlivých ventilů projevilo hlavně pokrytím extrémní vrstvou spalin. Tepelné přetížení je potvrzeno i vznikem trhlin na sedlových plochách ventilu *A,* hodota M = 353 A/m . U ventilu *C* došlo dokonce k roztavení koruny pístu a tím došlo k nánosu směsi hliníku na ventil, hodnota M = 426 A/m. Vznik trhlin byl podpořen netěsností sedlových ploch (štěrbinový efekt spalin). U ventilů *D* (M = 682 A/m) a *E* (M = 764 A/m) došlo vlivem extrémního tepelného a korozního přetížení k vytrhání materiálu a ke vzniku mikrosvarů. Ventily *M* (M = 778 A/m) a *N* (M = 781 A/m) také byly extrémně tepelně přetěžovány. U ventilu *N* došlo k odpevnění materiálu a k jeho následnému lomu. Sací ventil *O* (M = 332 A/m) byl zatěžován více, než je u sacích ventilů běžné. Došlo u něj ke špatnému těsnění ventilu vlivem odlomení části sedlové plochy. Vlivem profukujících spalin, které prošly vzniklou trhlinou v sedlové ploše, došlo k silnému tepelnému ovlivnění.

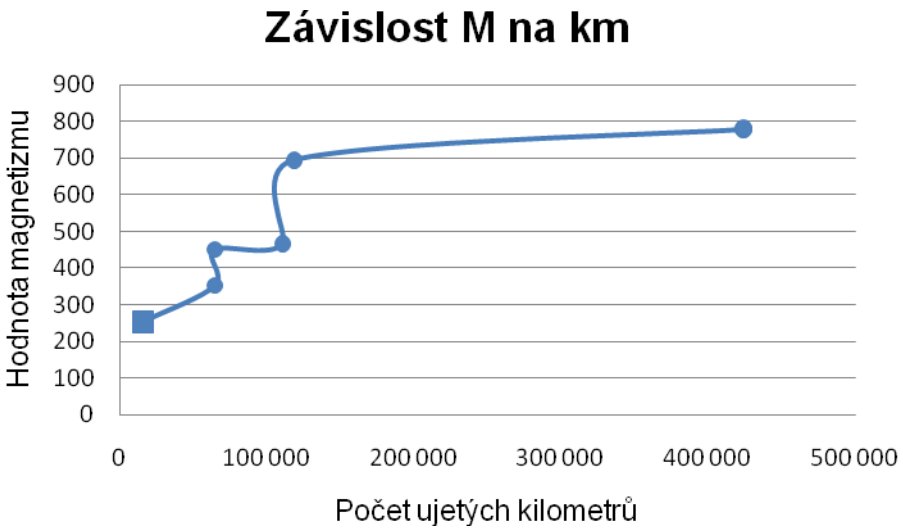
U naftových motorů se tepelné přetížení projevilo zkřehnutím materiálu, které ve většině případů vedlo k lomu ventilu, který se šířil z podnávarové dutiny.

Graf 2 závislost naměřeného zbytkového magnetismu na počtu ujetých kilometrů. První bod v grafu, označený čtvercem se vztahuje k motoru naftovému. Ostatní náleží plynovým motorům. V grafu jsou uvedeny jen ty hodnotu ventilů, u nichž byla udána délka provozní doby. V tabulce 11 jsou uvedeny hodnoty

remanentního magnetizumu a doby provozu jednotlivých ventilů plynových a naftových motorů.

Ventil	Hodnota M [A/m]	Doba provozu [km]
A Naftový motor	254	16 000
A Plynový motor	353	65000
B Plynový motor	450	65000
E Plynový motor	467	111200
P Plynový motor	695	118950
M Plynový motor	778	424 100

Tab. 11. Hodnoty ujetých km a remanetního magnetizmu.



.Graf 2. Závislost ujetých kilometrů a naměřených hodnot intenzity zbytkového magnetického pole tepelně přetěžovaných ventilů.

Z grafu 2 je poznat, že se hodnoty remanentního magnetizmu zvyšují společně s hodnotou ujetých kilometrů. To znamená, že degradace materiálu ventilu je postupná a zvyšuje se společně s dobou provozu ventilu. Nejkratší doba provozu s tepelným přetížením se projevila u naftového motoru s číslem ventilu *A*, vlivem nepřiměřeného zkřehnutí hlavně v oblasti povrchu kužele hlavy ventilu.

3.1.2. Koroze Cr vrstvy

Tento druh porušení Cr vrstvy se vyskytl jen u plynových motorů a to v 11 případech u zpráv *A, B, D, E, G, H, I, L, M, N, V*. Koroze Cr vrstvy patří mezi nejčastější vady ventilů plynových motorů společně s tepelným zatěžováním.

Vlivem vysoké teploty a korozní agresivity spalin, mazacího média a dalších vlivů dochází k degradaci materiálu ventilů. Vliv na vznik koroze Cr vrstvy má opotřebení povrchu dříku, které může nastat oděrem mezi dříkem ventilu a vodítkem. U dříků ventilů se projevuje hlavně abrazivní a adhezivní opotřebení. Na abrazivní poškození má vliv špatné těsnění ventilu, kdy dojde k proniknutí cizí částice k povrchu dříku. Dochází ke vzniku abrazivních rýh, které se dále rozšiřují. Za abrazivní prostředí je považována vysokoteplotní degradace maziva s produkty spalování. Při adhezivním opotřebení vznikají lokální svary, které vznikají vlivem působení vysokého tlaku mezi vodítkem a Cr vrstvou. [23]

Vlivem tepelné koroze dochází k mechanickému opotřebení při působení produktů spalin. Na vznik koroze má vliv i použité palivo a množství vzduchu přivedeného ke spalování. Jelikož ke korozi Cr vrstvy dochází výhradně u plynových motorů lze říci, že plyny vzniklé hořením jsou více agresivní než u naftových motorů, kde se koroze Cr vrstvy nevyskytuje. Pokud plynové motory pracují s nedostatkem vzduchu, vzniká více škodlivin, které mohou podpořit korozi Cr vrstvy. Pokud je přivedeno více chladného vzduchu, jsou ventily tímto vzduchem trochu ochlazovány. Při tepelné korozi může dojít k úplnému odstranění původní vrstvy povrchu dříku ventilu, což je nežádoucí. V extrémních případech může dojít i k průpalu.

Na obr. 9 je havarovaný ventil *N,* kde je na dříku ventilu patrná elipsovitá koroze Cr vrstvy. Na obr. 10 je detailní pohled na korozi Cr vrstvy na dříku ventilu *G.* Na ventilu G byl patrný pás adhezních rýh. Navíc tento ventil dosáhl mezní teplotní expozice, při které by za přítomnosti výrobní vady došlo k rozvoji lomu.

Obr. 9. Propálená Cr vrstva na dříku ventilu.

Obr. 10. Detail propálené Cr vrstvy dříku.

3.1.3. Lom materiálu

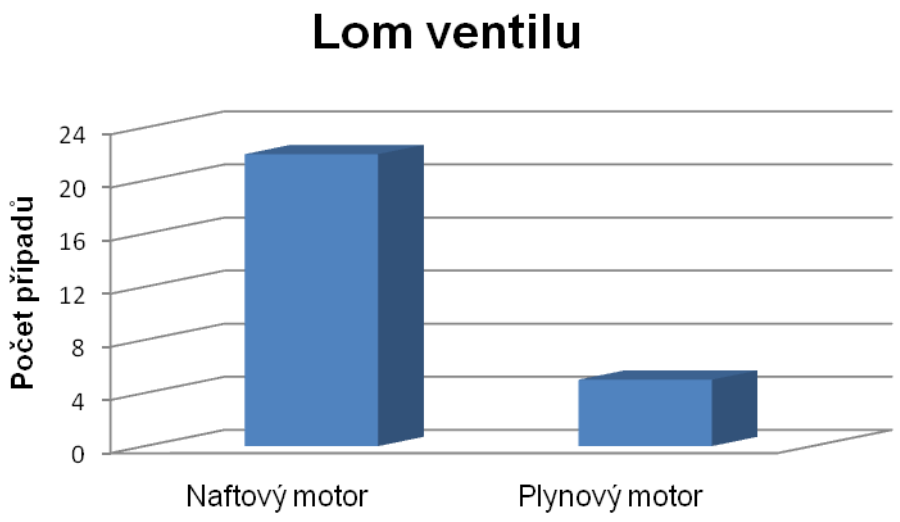
Lom materiálu byl jedním z nejčastějších způsobů porušení ventilů. Lom je mezní stav, při kterém dochází k trvalému porušení materiálu. Vzniká porušením meziatomových vazeb a následným oddělením dvou částí materiálu. To je při provozu motorových vozidel nežádoucí. Vlivem rozlomení ventilu dochází k vniknutí

části ventilu do spalovacího prostoru a k jeho následnému poškození nebo v mezních případech i zničení. Dále může dojít k nasátí odlomeného fragmentu do výfukového potrubí a ke zničení turbodmychadla. Na obr. 11 je ukázán ventil J z plynového motoru s odlomenou částí a na obr. 12 je lom ventilu *C* z naftového motoru.

Obr. 11. Odlomená část sedlové plochy ventilu.

Obr. 12. Lom ventilu.

Z grafu 3. lze jednoznačně poznat, že lom ventilu je nejčastějším případem poškození u naftových motorů. U naftových motorů nastal lom v 22 případech *(A, B, C, E, G, H, J, K, L, M, N, P, Q, R, T, U, V, W, X,Y, Z, AA)* kdežto u plynových motorů se projevil v 5 případech *(F, J, K, N, Q).*



Graf 3. Počet případů vzniku lomu u plynových a naftových motorů.

V tab. 12 jsou uvedeny hodnoty ujetých kilometrů než došlo ke vzniku lomu pro jednotlivé ventily. V tabulce není uvedena doba provozu všech ventilů, které byly poškozeny únavovým lomem, protože ne u všech byla doba provozu známa. Značení PM znamená plynový motor.

Ventil	K PM	N PM	Q PM	A	B	C	E	G
Doba provozu [km]	350000	424000	40000	16000	19674	152672	71730	103000
Ventil	H	J	K	L	M	P	Q	R
Doba provozu [km]	47182	8000	33607	28700	119900	95300	95300	7000
Ventil	U	V	X	Y	Z	AA		
Doba provozu [km]	178000	140000	183567	196700	96000	16000		

Tab. 12. Doba provozu pro jednotlivé ventily.

Graf 4. Počet ujetých kilometrů u jednotlivých ventilů. PM značí ventily z plynových motorů.

Graf 4. ukazuje, že ventily použité v plynových motorech odolávají lomu déle než motory naftové. Jeden z plynových ventilů ujel oproti ostatním dvěma jen 40 000 km, vlivem krátké, ale vysoké intenzity teplotní expozice. Díky teplotní expozici došlo ke zkřehnutí austenitické oceli a k následnému zvýšení vrubové citlivosti, to vedlo k únavovému porušení ventilu ze skryté plošné vady nadkritické velikosti. Podle četnosti vzniku únavového lomu u naftových motorů se dá předpokládat, že jsou tyto motory namáhány více než plynové motory, u kterých se únavový lom tolik neprojevoval.

Ventil z naftového motoru číslo B měl jako dominantní složku silový lom, který zaujímal přes 50 % celkové plochy lomu. Ventil byl rozlomen na 3 části. Primární únavový lom byl vyvolán překážkou v sedlové ploše.

Ve většině případů se jednalo o únavový lom. Dá se předpokládat, že k němu došlo u všech ventilů. U některých byla plocha lomu kontaminována zplodinami hoření, nebo byla hodně poničena. Z tohoto důvodu nelze přesně určit o jaký lom se jedná. Ke kontaminaci plochy lomu došlo špatným těsněním ventilu, kdy spaliny mohly pronikat k lomu a tím ovlivnit lomovou plochu. Špatné těsnění

ventilu bylo způsobeno odlomením, či poničením sedlové plochy ventilu. Poničení lomové plochy mohlo být zapříčiněno, potlučením odlomené části ventilu.

Únavový lom vzniká při cyklickém zatěžování za značně nižších napětí, než je mez pevnosti materiálu. Ventily patří mezi části motoru, které jsou v provozu vystaveny opakujícímu se proměnnému namáhání, a proto u nich vzniká únavový lom. Pomocí meze únavy, která se zkouší do 10^7 cyklů je možno teoreticky vypočítat, kolik kilometrů ujede vozidlo při zvolených 1000 ot/min, než dojde k porušení ventilu.

Hodnoty potřebné k výpočtu ujetých kilometrů:

- Otáčky n = 1000 ot/min
- 4 - dobý motor
- 10^7 cyklů
- Přepočet 1 hodina = 50 km

Protože za jednu otáčku hřídele vykoná píst dva zdvihy, počítáme s n = 500 ot/min. Nyní pro výpočet použijeme jednoduchou trojčlenku.

500 … … … …60s

10^7 … … … … x

$x = (60 / 500) * 10^7 = 1\ 200\ 000$ s = 333,3 h

1h = 50 km => 333,3 * 50 = 16 665 km

Vyšlo, že při otáčkách 1000 ot/min by měl ventil vydržet po dobu 16 665 km, než dojde k jeho porušení únavovým lomem. Ventily plynových motorů vydržely v provozu mnohem déle než 16 665 km. U 4 naftových motorů (u nichž byla udána doba provozu) A, J, R, AA došlo k únavovému lomu ještě před dosažením vypočtené hodnoty. Ventil naftového motoru A se rozlomil vlivem velmi vysokého tepelného přetížení, které vedlo k nepřiměřenému zkřehnutí materiálu.

Ventil J je ventil sací, u něhož příčinou havárie bylo použití ventilu po generální opravě a vysoké tepelné přetížení. Ventil R je opět sací ventil, u kterého bylo poškození iniciováno přítomností cizích těles. U sacího ventilu AA došlo ke vzniku lomu vlivem rázového namáhání po prasknutí pružiny.

Než dojde k lomu, vznikne zárodek únavové trhliny, která se pak šíří kovem. Aby se nukleovala trhlina musí být překročeno určité mezní napětí, které je označováno jako mez únavy. Mezní napětí se snadněji překročí na koncentrátorech napětí, které tvoří vnitřní vady v případě ventilů ve stelitovém návaru. Únavový lom lze rozeznat podle vzhledu jeho lomové plochy, která je poměrně hladká s viditelným počátkem iniciace lomu a se zřetelnými pásmy postupového šíření lomu. Zbytková část lomu byla silová většinou se známkami plastické deformace.

Jak již bylo zmíněno, únavový lom vzniká zárodkem únavové trhliny. K iniciaci lomu dochází vlivem podpovrchových vad. Mezi podpovrchové vady lze zařadit podnávarovou dutinu, která je důsledkem nekvalitního spojení materiálu hlavy ventilu a stelitového návaru. Další podpovrchová vada je tzv. studený spoj vznikající nedokonalým tavným spojením základního materiálu a svarového kovu. Tyto vady lze odhalit za pomocí ultrazvukové kontroly.

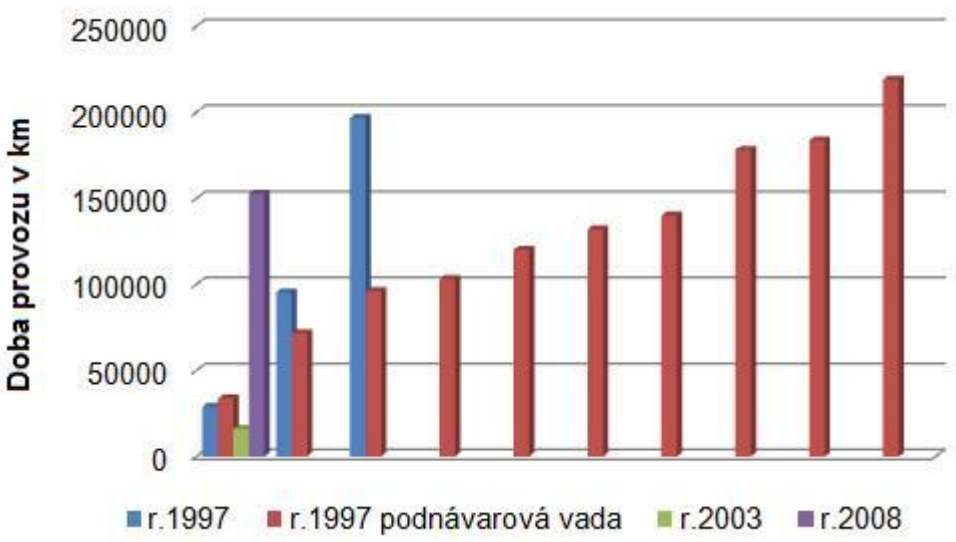
3.1.4. Podnávarová vada

Podnávarová vada vzniká při navařování stelitového návaru na hlavu výfukového ventilu. Vzniká hlavně při navařování pomocí drátu, tuto metodu používala firma PRAGA Hrádek nad Nisou. Tato metoda je nevyhovující svou náchylností ke vzniku vad, především zmiňované podnávarové dutiny, která vzniká v místě rozhraní návaru se základním materiálem. Z této vady se může začít šířit únavový lom. Technologický pokrok se projevil i ve způsobu navařování stelitového návaru Firma TRW DAS Dačice používá plazmovou práškovou metodu, při níž dochází k lepšímu přilnutí návaru k základnímu materiálu ventilu.

Podnávarová vada z níž se začal šířit únavový lom, se vyskytovala u 11 výfukových ventilů *(E, G, K, M, O, S, T, U, V, X, Z)* naftových motorů. V grafu 5 je znázorněn poměr vad vzniklých vlivem podnávarové dutiny a lomu vzniklého jiným způsobem v daném časovém horizontu a dobou provozu. Časový horizont je udán rokem vyhotovení zprávy.

Lom ventilu z podnávarové vady			Lom ventilu		
Ventil	Rok	Doba provozu [km]	Ventil	Rok	Doba provozu [km]
E	1997	71 730	A	2003	16 000
G	1997	103 000	C	2008	152 672
K	1997	33 607	L	1997	28 700
M	1997	119 900	P	1997	95 300
O	1997	210 000	Y	1997	196 780
S	1997	132 000			
U	1997	178 000			
V	1997	140 000			
X	1997	183 567			
Z	1997	96 000			

Tab. 13. Výfukové ventily s lomen a ventily výfukové s lomen iniciovaným podnávarovou dutinou.



Graf 5. Počet lomu ventilu a lomu ventilu vzniklého podnávarovou vadou.

Z grafu 5 lze poznat, že ventily, v nichž se vyskytla podnávarová vada, ze které se šířil únavový lom, byly podrobeny zkoumání v roce 1997. V letech 2003 a 2008 se tato vada již nevyskytla. U ventilů kontrolovaných v roce 1997 byl návar prováděn pomocí drátu (obloukové svařování). Jak již bylo zmíněno, při navařování drátem dochází ke vzniku podnávarové vady, ze které se začal šířit únavový lom. Po přejití k firmě TRW DAS Dačice, která vytváří návar plazmou, došlo k odstranění těchto nespojitostí mezi základním a navařovaným materiálem.

S kvalitou stelitového návaru je úzce spojen i lom vznikající v nejtenčím místě návaru. Tato závada se projevila jen u výfukových ventilů naftových motorů. K šíření lomu v nejtenčím místě návaru došlo u ventilů *L, N, U, Z*. Všechny údaje o těchto ventilech byly zpracovány v roce 1997, v pozdějších letech se tato vada nevyskytla. Nejtenčí místo v návaru vzniklo při navařování drátem, kdy nelze provést stejně silnou tloušťku návaru. I z tohoto důvodu je příznivější zhotovovat návar pomocí plazmy práškovou metodou, tak jak to dělá firma TRW DAS Dačice.

3.1.5. Vměstky hliníku

U několika ventilů došlo k nánosu hliníku na povrch ventilu. Jedná se o ventily z naftových motorů *D, H, L, P, Q, X, Y*. U plynových motorů byly pozorovány jen u jednoho ventilu *C*, u kterého došlo k roztavení koruny pístu, vlivem velmi vysokého tepelného přetížení. U ventilu *D* z naftového motoru došlo k propálení otvoru na hranici kužele a sedlové plochy návaru. Nedocházelo tu k ochlazování, ale naopak ke kumulaci tepla, která vedla k tavení pístu, z nějž se natavil hliník. Materiál ventilu H odpovídal méně vhodné oceli. U pístů bylo nevyhovující těsnění, které zapříčinilo počáteční vznik daného problému. Vlivem odlomení menší části hlavy ventilu, docházelo nějaký čas k profukování plynu, který reagoval s materiálem pístu, to mělo za následek natavení pístu. Z nataveného materiálu pístu se hliník dostal na ventil.

3.1.6. Propálení ventilu

K propálení ventilu došlo v jednom případě u plynového a v jednom u naftového motoru. U plynového motoru se jedná o ventil *W*. Na obr. 13 je průpal ventilu *W*.

Obr. 13. Propálený ventil *W*

Chybějící část hlavy ventilu je ohraničena oblými plochami průpalu bez jakéhokoliv náznaku lomu. Proud horkých spalin vytvořil v obvodu hlavy kuželový otvor. Z důvodu netočení ventilu dopadal žhavý proud stále na jedno a to samé místo hlavy ventilu, až došlo k jejímu porušení a následnému propálení. Došlo zde k propálení i stelitového návaru. Ventil nebyl tepelně přetěžován. Havárie byla způsobena lokálním prudkým teplotním přetížením ventilu. Pokud by se ventil točil, nedocházelo by k tak rasantnímu tepelnému přetěžování, které působilo jen do jednoho místa a nemuselo by dojít k průpalu ventilu.

Ventil *D* naftového motoru měl propálený otvor. Bylo to způsobeno špatným spalovacím režimem válce. Nejspíše špatné seřízení. Sací ventil nebyl ochlazován a díky tomu docházelo ke kumulaci tepla. To vedlo k tavení pístu motoru.

4. ZÁVĚR

Jako hlavní odlišnosti v degradaci ventilové oceli plynových a naftových ventilů se projevili:

- **Koroze Cr vrstvy**

  Koroze Cr vrstvy se vyskytuje jen u plynových motorů. Dochází k ní vlivem vysokých teplot spalin, mazacího média a cizích částic vzniklých během spalování, které způsobují opotřebení dříků ventilů. Spaliny plynových motorů jsou korozně agresivnější než spaliny naftových motorů.

- **Podnávarová dutina**

  Tato vada se vyskytla u 11 výfukových ventilů naftových motorů. Z podnávarové dutiny se šíří únavový lom. Podnávarová vada vzniká při navařování stelitového návaru drátem. V dnešní době je tomu zamezeno díky vytváření vrstvy návaru pomocí plazmového navařování, kdy se používá přídavný materiál ve formě prášku.

- **Tepelné přetížení**

  Tepelné zatěžování způsobuje degradaci materiálu a tím snižuje životnost ventilu. Tepelné přetížení se u naftových motorů projevilo v 5 případech a u plynových motorů v 11. Plynové motory mají větší teplotu výfukových plynů, proto u nich dochází častěji k tepelnému přetěžování. Dalšími důvody může být špatné těsnění ventilu a tím způsobené profukování horkých spalin, nebo vznikem odlomení části hlavy ventilu, čímž opět dochází k profukování horkých spalin.

- **Lom ventilu**

  U naftových ventilů byl zaznamenán ve 22-ti případech, u plynových motorů v 5. Lom ventilu se projevoval jako únavový lom. K iniciaci lomu může dojít i špatným seřízením, podnávarovou vadou, trhlinou a studeným spojem. Dalo by se usuzovat, že ventily naftových motorů budou více namáhané než plynové motory. Ovšem u naftových motorů ve většině případů došlo

ke vzniku lomu z podnávarové dutiny, která se nyní díky změně způsobu navařování stelitového návaru eliminovala.

- **Vměstky hliníku**

  Vměstky hliníku byly nalezeny u 1 ventilu z plynového motoru a u 7 z naftového motoru. Ke vzniku vměstků došlo vlivem natavení pístu. Je to způsobeno špatným těsněním ventilu, nebo odlomením části hlavy ventilu a následným profukováním horkých spalin.

- **Propálení ventilu**

  K propálení ventilu došlo u jednoho plynového motoru a jednoho naftového motoru. U plynového motoru vznikl průpal vlivem lokálního prudkého tepelného přetížení a nerotací ventilu. K propálení ventilu u naftového motoru došlo vlivem špatného spalovacího řežimu.

Z těchto výsledků je patrné, že degradace ventilů plynových motorů se převážně projevuje teplotním přetížením a korozí Cr vrstvy. Teplotní přetížení a koroze Cr vrstvy souvisí s provozními podmínkami motoru. Plynové motory mají vyšší teplotu výfukových plynů a pracují s nedostatkem vzduchu. V menší míře se u nich projevil únavový lom. Došlo u něj také k propálení ventilu. Nevyskytla se tu žádná destrukce vlivem podnávarové vady. To by se dalo vysvětlit tím, že ventily, které se zabudovávali do plynových motorů, byly vyráběny firmou TRW DAS Dačice. TRW DAS Dačice eliminovala vznik podnávarové dutiny zlepšením navařování stelitového návaru.

Ventily naftových motorů podléhali nejčastěji únavovému lomu, který byl často iniciován z podnávarové dutiny. Jak již bylo řečeno, došlo k eliminaci této vady a tím i ke zlepšení odolnosti výfukového ventilu. Dalším iniciátorem vzniku únavového lomu jsou trhliny v návaru a slabé místo v návaru. Trhliny mohli vzniknout vlivem poškození cizím tělesem, které vniklo do spalovacího prostoru, nebo teplotním zatížením. Slabé místo v návaru opět souvisí s nevhodností navařování drátem, kdy nelze zaručit neproměnnou tloušťku svaru. Vměstky hliníku se na ventily dostali vlivem natavení pístu. K natavení pístu došlo po vzniku

odlomení části ventilu, kdy docházelo k profukování horkých spalin, které natavily píst.

Pro prodlužení životnosti ventilu je nutné dbát na správné seřízení a geometrii sezení, aby daný ventil těsnil a nedocházelo ke špatnému spalovacímu režimu. Pro ventily plynových motorů by bylo vhodné použití materiálu, který dokáže odolat vyššímu teplotnímu zatížení, aby nedocházelo k rychlému nástupu degradace materiálu. Tato změna materiálu byla v nedávné době provedena. Dříky ventilů by měly mít odpovídající jakost povrchu bez rýh vzniklých při obrábění. Motorová paliva by měla být kvalitní (je to udáno normou, je lepší tankovat u čerpacích stanic, které mají tzv. pečeť kvality). Bioplyny musí být bez korozně agresivních složek, cizích příměsí a nečistot.

5. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] Macek J., Bohuslav S.: Spalovací motory I, ČVUT Praha 1996

[2] Bosch: Systém vstřikování s tlakovým zásobníkem Common Rail pro vznětové motory, Robert Bosch GmbH 2005

[3] www.tedom.cz

[4] Kolektiv autorů. Provozní degradace austenitických ventilových ocelí. Sborník semináře, Liberec 2006, ISBN 80-7372-113-9.

[5] Pluhař J., Koritta J.: Strojírenské materiály, Nakladatelství technické literatury Praha 1977

[6] Šnajdr M., Diplomová práce, Strukturní projevy provozní degradace ventilových austenitických ocelí, TU Liberec 2006

[7] ČSN EN 10090: Oceli a slitiny na ventily pro spalovací motory, 2000

[8] Odkaz na internetových stránkách 22. 4. 2010, www.tyden.cz/rubriky/auta/slovnicek/paliva-soucasnosti-a-budoucnosti/vznetovy-motor_76738.html

[9] Odkaz na internetových stránkách, 21. 4. 2010, www.fyzika.jreichl.com/index.pdp

[10] Alaxin J.: Fyzikální metalurgie II, Vysoká škola strojní a textilní v Liberci 1986

[11] Odkaz na internetových stránkách, 20. 2. 2010, www.mdcr.cz/NR/rdonlyres/F2EF24EF-5E59-42C7-B6C7-A5508CE8F820/0/Technickoekonomicka_analyza_vhodnych_alternativnich_paliv_v_dopravecast_1.pdf

[12] Odkaz na internetových stánkách, 9. 4. 2010, www.biom.cz/cz/odborne-clanky/rostlinne-oleje-jako-motorova-paliva

[13] Odkaz na internetových stránkách, 15. 4. 2010, www.hornictvi.info/prirucka/zprac/koksovny/koks.htm

[14] Odkaz na internetových stánkách, 1. 5. 2010, www.ceskarafinerska.cz/data/press/tt_energie_nafta_atraktivnejsi.pdf

[15] Kožoušek J.: Teorie spalovacích motorů, SNTL-Nakladatelství technické literatury, Praha 1971

[16] Ptáček L. a kol.: Nauka o materiálu I., Akademické nakladatelství Cern s.r.o. 2003

[17] Skrbek B.: Metoda magnetické skvrny, Technická univerzita v Liberci 2008, ISBN 978-80-7372-428-3

[18] Odkaz na internetových stánkách, 9. 12. 2010, http://max.af.czu.cz/~miki/biodiesel.htm

[19] Odkaz na internetových stránkách, 11. 12. 2010, http://www.hornictvi.info/prirucka/zprac/koksovny/koks.htm

[20] Dolanský D.: Bakalářská práce, Bioplyn jako palivo pro kogenerační jednotky, Vysoké učení technické v Brně, 2009

[21] Imbr V.: Plynofikace autobusové MHD s využitím LPG, Univerzita Pardubice

[22] Odkaz na internetových stránkách, 11. 12. 2010, http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-teo-204_01_emiseskodlivinvevyfukovychplynech_zakladnipojmy.pdf

[23] Kysel M.: Bakalářská práce, Mechanizmus opotřebení Cr vrstvy ventilových dříků, TU Liberec

6. PŘÍLOHY

6.1. Příloha 01

Oceli a slitiny na ventily pro spalovací motory ČSN EN 10090.

Tabulka 1: Materiály a chemické složení (rozbor tavby).

ČSN EN 10090

Tabulka 1 - Materiály a chemické složení (rozbor tavby)

Označení		Chemické složení (hmotnostní podíl v %)								
Značka	Číselné označení	C	Si	Mn	P max.	S max.	Cr	Mo	Ni	Ostatní
Oceli martenzitické										
X45CrSi9-3	1.4718	0,40 až 0,50	2,70 až 3,30	max. 0,60 [1]>	0,040	0,030	8,00 až 10,00		max. 0,50	
X40CrSiMo10-2	1.4731	0,35 až 0,45	2,00 až 3,00	max.0,80 "	0,040	0,030	9,50 až 11, 50	0,80 až 1,30	max.0,50	
X85CrMoV18-2	1.4748	0,80 až 0,90	max, 1,00	max.1,50	0,040	0,030	16,50 až 18,50	2,00 až 2,50		V: 0,30 až 0,60
Materiály austenit cké										
X55CrMnNiN20-8	1.4875	0,50 až 0,60	max. 0,25	7,00 až 10,00	0,045	0,030	19,50 až 21, 50		1,50 až 2,75	N: 0,20 až 0,40
X53CrMnNiN21-9	1.4871	0,48 až 0,58	max, 0,25	8,00 až 10,00	0,045	0,030 [2]>	20,00 až 22,00		3,25 až 4,50	N: 0,35 až 0,50
X50CrMnNiNbN21 -9	1.4882	0,45 až 0,55	max. 0,45	8,00 až 10,00	0,045	0,030	20,00 až 22,00		3,50 až 5,50	W: 0,80 až 1,50 Nb + Ta: 1,80 až 2,50 N: 0,40 až 0,60
X53CrMnNINbN21 -9	1.4870	0,48 až 0,58	max. 0,45	8,00 až 10,00	0,045	0,030	20,00 až 22,00		3,25 až 4,50	Nb + Ta: 2,00 až 3,00. N: 0,38 až 0,50. C + N > 0,90
X33CrNiMnN23-8	1.4866	0,28 až 0,38	0,50 až 1,00	1,50 až 3,50	0,045	0,030	22,00 až 24,00	max. 0,50	7,00 až 9,00	W: max. 0,50 N: 0,25 až 0,35
NiFe25Cr20NbTi	2.4955	0,04 až 0,1	Max. 1	Max. 1	0,030	0,015	18,00 až 21, 00		Zbytek	Al: 0,30 až 1,00 Fe: 23,00 až 28,00 Nb + Ta: 1,00 až 2,00 Tl: 1,00 až 2,00 B:max. 0,008
NiCr20TiAl	2.4952	0,04 až 0,10	max, 1,00	max.1,00	0,020	0,015	18,00 až 21, 00		min. 65	Fe: max. 3,00 Cu:max. 0,20 Co:max. 2,00 B: max. 0,008 Al: 1,00 až 1,80 Ti: 1,80 až 2,70

" Ke zlepšení kontinuálního odlévání může být dohodnut hmotnostní podíl Mn 0,50 % až 1,50 %. [2]> Při objednávání může být dohodnut hmotnostní podíl S 0,020 % až 0, 080 %.

Tabulka 2: Informativní hodnoty pevnosti v tahu při vyšších teplotách.

ČSN EN 10090

Tabulka A.2 - Infonnativní hodnoty pevnosti v tahu při vyšších teplotách

Označení Značka	Číselné označení	Referenční stav tepelného zpracování [1])	500 "C	550 "C	Pev 600 °C	nost v tahu 650 'C	Bpň 700 *C	750 'C	800 "C
Oceli martenzitické									
X45CrSi9-3	1.4718	+or	500	360	250	170	(110)[4]>		
X40CrSiMo10-2	1.4731	+or	550	420	300	220	(130)")		
X85CrMoV18-2	1.4748	+07	550	400	300	230	(180) «)		
Materiály austenitické									
X55CrMnNiN20-8	1.4875	•M7+P	640	590	540	490	440	360	290
X53CrMnNiN21-9	1.4871	+AT+P	650	600	550	500	450	370	300
X50CrMnNiNbN21-9	1.4882	+AT+P	680	650	610	550	480	410	340
X53CrMnNiNbN21-9	1.4870	W+P	680	650	600	510	450	380	320
X33CrNiMnN23-8	1.4866	+AT+P	600	570	530	470	400	340	280
NiFe25Cr20NbTi	2.4955	+AT+P	800	800	790	740	640	500	340
NiCr20TiAl	2.4952	w+p	1050	1030	1000	930	820	680	500

[1]> +QT= stav zušlechtěný, +AT= stav po rozpouštěcím žíhání, +P= vytrvrzeno.

[2]> Uvedené hodnoty leží při spodní hranici pásu rozptylu tvrdosti.

[3]> 1 N/mm^2 = 1 MPa

[4]> Doporučuje se tuto ocel používat jen do teploty 700 °C.

Tabulka 3: Informativní hodnoty smluvní meze kluzu.

ČSN EN 10090

Tabulka A.3 - Informativní hodnoty smluvní meze kluzu 0,2 při zvýšených teplotách

Označení Značka	Číselné označeni	Referenční stav tepelného zpracováni [1])	500 "C	550 *C	Smluv 600 °C	ní mez kluzu 650 "C	0,2 pn 700 °C	750 °C	800 "C
Oceli martenzitické									
X45CrSi9-3	1.4718	+QT	400	300	240	120	(80)"'		
X40CrSiMo10-2	1.4731	+QT	450	350	260	180	(100) [4]>		
X85CrMoV18-2	1.4748	+or	500	370	280	170	(120)0		
Materiály austenitické									
X55CrMnNiN20-«	1.4875	W+P	300	280	250	230	220	200	170
X53CrMnNiN21-9	1.4871	W+P	350	330	300	270	250	230	200
X50CrMnNiNbN21-9	1.4882	W+P	350	330	310	285	260	240	220
X53CrMnNiNbN21-9	1.4870	W+P	340	320	310	280	260	235	220
X33CrNiMnN23-8	1.4866	W+P	270	250	220	210	190	180	170
NiFe25Cr20NbTi	2.4955	+AT+P	450	450	450	: 450	430	380	250
NiCr20TiAl	2.4952	+AT+P	700	650	650	%-	600	500	450

'i +0f = stav zušlechtěný, +AT = stav po rozpouštěcím žíhání, +P = vytrvrzeno.

[2]> Uvedené hodnoty leži pn spodní hranici pásu rozptylu tvrdosti.

[3]) 1 N/mm^2 = 1 MPa

[4]) Doporučuje se tuto ocel používat jen do teploty 700 "C.

6.2. Příloha 02

Tab. 1. Ventily plynových motorů

Ventil	Motor	Doba provozu	Opotřebení	Vyhodnocení
A	KJ 181-747-0001.13	1 300 h 65 000 km	Sedlová plocha pokryta černohnědou vrstvou spalin. Vlivem štěrbinového efektu horkých spalin se v hlavě vytvořily trhliny s roztečí 4-6 mm, nejdelší protíná 2/3 šířky sedlové plochy. Na dříku přechodové pásmo náběhových barev (200 až 350°C) a lesklé plochy s bodovou korozí Cr vrstvy. M 353 A/m.	Dle ultrazvukové kontroly tloušťka a homogenita návaru vyhovuje. Hodnoty mechanických vlastností vyhovují předpisu. Magnetické vlastnosti potvrdily velmi intenzivní tepelně korozní napadení materiálu. Poškození odpovídá svými hodnotami hodně zatěžovanému naftovému motoru. Vznik trhlin podpořila netěsnost sedlových ploch. Abrazivní charakter povrchu dříku patrně umožnila bodová koroze zatepla chromové vrstvy dříku.
B			Sedlová plocha silně pokryta připečeninami splodin paliva. Část sedlové plochy mechanicky poničena. Zřetelné trhliny. Nesymetricky zatěžovaná plocha. Intenzivní bodová koroze Cr vrstvy. M 450 A/m.	
C	KJ 3C1 747 A001.17	-	Roztavená koruna pístu. Čela hlav ventilů byla porušena nerovným nánosem směsi Al a destruovaných částí litinových dílů. M 426 A/m.	Bylo provedeno měření magnetické remanence přístrojem DOMENA. Naměřené hodnoty jsou velmi vysoké. Motor byl silně tepelně zatěžován vzhledem k normálnímu provozu. Tím došlo

				k poškození ventilů a pístu motoru.
D	-	-	Hlava ventilu bez nánosu korozních splodin. Sedlová plocha silně zakarbonovaná. Dřík má porušenou Cr vrstvu a došlo k vytrhání materiálu. Cr vrstva není zřetelná. Hloubkové napadení 0,04 až 0,1 mm s částmi chybějícího materiálu. M 682 A/m.	Hodnoty tvrdosti jsou vyhovující. Naměřeny vysoké hodnoty zbytkového magnetizmu. Ventily byly tepelně i korozně hodně zatížené. Příděr s mikrosvary a vytrháním materiálu vznikl v oblasti povrchu dříku s mezním třením a tepelně korozní degradací maziva.
E			Povrch sedlové plochy zakarbonovaný. Stopka ventilu má výrazný otlak s hranou. Silně napadená Cr vrstva. Vytrhaný materiál v oblasti dříku, došlo ke vzniku jamek s nánosy karbonu. M 764 A/m.	
F	KJ	-	Ventil byl rozlomen. Dřík pokryt zplodinami tepelné kontaminace až do 35 mm ke kalenému čelu. Deformovaná hlava. Jemnozrnná lomová plocha přes tepelnou kontaminaci a mírné potlučení nese stopy postupových čar únavového lomu.	Mechanické vlastnosti vyhovovaly předpisu. Měřením magnetizmu bylo odhaleno místo s náhlým maximem a posléze minimem, což odpovídá tupému svaru dříku. Nekvalitní sedlová plocha ventilu (vylomený návar v sedlové ploše). Poškození mohlo způsobit i cizí těleso v těsnění sedlové plochy. Lom způsobilo jednostranné ohybové nepříliš intenzivní namáhání.

G	KJ 731 747 0014.65	2 224 h 111 200 km	Kontaktní plocha stopky ventilu má patrný pás adhezních rýh mimo osu kontaktní plochy. Vypálené skvrny na dříku a poškozená Cr vrstva. Sedlová plocha bez vměstků, pokryta rovnoměrným karbonem. Čelo i kužel hlavy pokryt tenkou vrstvou kompaktních produktů spalování. M 467 A/m.	Ventil dosáhl mezní teplotní expozice, při které již malá výrobní vada vede k rozvoji lomu. Zatím se projevila jen korozním vypálením Cr vrstvy. Tvrdost odpovídá předpisu.
H	KJ 681 747 0007	7 200 h 360 000 km	Sedlové plochy ventilu neporušené, bez vměstků. Dřík má opět vypálenou Cr vrstvu v celé délce a po celém obvodu vedení. Ventil rotoval – lesklý rovnoměrný otlak na stopce.	Výchozí materiál ventilu odpovídá vlastnostmi danému předpisu. Vedení bylo oduhličené. Ventily nebyly tepelně přetížené. Dřík 8 ventilu byl tepelně zatíženější než ventil 9. Materiál ventilu ani vedení nezpůsobilo vznik příděru. Ten patrně vznikl postupným průnikem agresivních spalin do kluzné plochy – k adheznímu opotřebení se připojila tvorba mikrosvarů a došlo k vytrhání materiálu po celém obvodu u 8 ventilu, který rotoval. 9 nerotoval – byla tedy vypálena pouze skvrna Cr na dříku.
I			Na dříku vypálená oválná skvrna v Cr vrstvě. Ventil nerotoval – obdélníkový pruh otlačení s příčnými adhezními rýhami na stopce. Náběhové barvy (ohřátí 250 až 320 °C) na vnější válcové ploše.	
J	KJ CATER-PILLAR	-	Ohnutý dřík asi v místě výstupu z vedení. Ve dvou místech zlomený ventil v dříku.	Odlomený kousek dříku a hlava zničily ostatní ventily. Lom nastal v austenitické

			Miskovitá hrubá plocha je lemována jemnou matnou obvodovou plochou lomu.	žáropevné oceli dříky patrně prostým cyklickým tahovým napětím. Ventily nebyly příliš teplotně zatěžovány. Hodnoty tvrdosti jsou v mezích předpisu. Rozlomený ventil měl patrně již při instalaci vnitřní technologické trhliny uvnitř dříku. K dolomení došlo nejspíše únavovým obvodovým lomem za provozu motoru.
K sací	KJ	7 000 h 350 000 km	Odlomená část sedlové plochy s částí kužele hlavy. Lom má únavový charakter. Bez plastické deformace. Ventil se netočil.	Ventil byl nesymetricky v sedle zatěžován. Silové dolomení bylo nepatrné. Příčinou porušení ventilu bylo únavové porušení. K lomu vedlo ohybové přetížení zeslabením sedlové plochy provozním opotřebením. Mechanické vlastnosti odpovídají předpisu.
L	KJ	4 644 h 232 200 km	Hlava pokryta nánosy bílých keramických zplodin. Sedlová plocha svědčí o nerovnoměrném sezení bet otlaků a s minimem vměstků. V oblasti dříku elipsovité oblasti s porušenou Cr vrstvou oklopené směrem k hlavě ventilu povrchem s neporušenou vrstvou	Dle měření zbytkového magnetizmu nebylo zjištěno tepelné ani korozní přetížení. Příděr s následným vytrháním materiálu vedení vznikl v oblasti povrchu dříku s mezním třením a tepelně korozní degradací maziva. Ventil se netočil. Bylo

			Cr. V okraji elips se vrstva Cr zcela probrousila, vznikly jamky s nánosy karbonu. Nesymetrické opotřebení funkčních ploch vedení.	špatné sedlové sezení. Došlo k průhybu dříku ze strany stopky a přívodu korodujících bílých keramických splodin ze strany hlavy ventilu. Tvrdost dříků byla hodně vysoká, ale to nemělo vliv na vzniklé poškození.
M	KJ 691 747 0007.33	8 482 h 424 100 km	Výfukové ventily pokryty na kuželech a čelech hlav silnými bílými usazeninami. Na dříku propálená Cr vrstva v eliptických skvrnách. Dle obdélníkového otlaku na stopkách se ventily netočily. M 778 A/m.	Pevnost ventilů je vyhovující. Tepelné zatížení výfukových ventilů způsobilo jejich odpevnění. Většina výfukových ventilů byla vysoce tepelně zatížena (hodnoty M nad 700). Došlo k únavě v ohybu talíře hlavy, tepelným přetížením, čímž došlo ke ztrátě časové pevnosti.
N			Poškozený ventil má odlomenou úseč z obvodu se sedlovou plochou. Bez bílých usazenin. Lomová plocha znečištěna teplotní korozí. Silové dolomení tvoří asi tak 20 %. Na dříku propálená Cr vrstva. M 781 A/m.	
O sací	KJ	2 379 h 118 950 km	Není kompaktní sedlová plocha. Kužele jsou zakarbonované. M 332 A/m.	Tepelné zatížení u sacích ventilů je vyšší než je běžné. Provozní podmínky ventilů se různí. Špatné seřízení prokazují otlaky na stopkových plochách. Špatné těsnění sacího ventilu. Tím došlo
P			Matné tmavohnědé úsady spalin na kuželu i na čele. Silná vrstva kompaktních sloučenin spalin. Sedlová plocha s erozními žlábky je	

			zvlněná ne hladká. M 695 A/m.	k tepelnému přetěžování ventilů.
Q	-	40 000 km	Porušení v oblasti sedlové plochy hlavy ventilu. Sedlová plocha lesklá, bez vměstků. Z obvodu sedlové plochy se vylomil asi 30 mm úsek vymezený lomovými plochami. Lastura postupových čar zřetelná i přes tepelnou kontaminaci plochy lomu.	Lom má únavový charakter. Tvrdost stopky i návaru je vyhovující. Krátkou, ale vysokou a intenzivní tepelnou expozicí v motoru došlo ke zkřehnutí austenitické oceli hlavy. Tím došlo ke zvýšení vrubové citlivosti a to vedlo k únavovému lomu ze skryté plošné vady nadkritické velikosti v základním materiálu polotovaru. Tato plošná vada tvořila ohnisko lomu.
R	-	3 000 km	Kontrola. Ventily podrobeny měření remanentního magnetizmu.	Ventily nejeví známky strukturní provozní degradace. Výfukové ventily nevykazují v hlavách žádný významný feromagnetický projev. U sacích se v oblasti 40 až 45 mm od čela projevuje významný feromagnetizmus, který nesouvisí svojí hodnotou M na provozní expozici. Souvisí patrně s výrobní technologií.
S	KJ 731 747	2 224 h 111 200	Na sedlové ploše znatelné vměstky, připečeniny a nerovnosti povrchu. Stopka	Tvrdost ventilů dosahuje požadovaných hodnot nebo vlivem zpevnění

	0014.65	km	s obdélníkovým otlakem.	i vyšších. Výfukové ventily výrazně opotřebeny abrazí z produktu spalování. Výfukové ventily nedosahují kritického tepelného přetížení.
T			Sedlová plocha s vměstky, připečeninami, nerovnostmi a žlábkovou abrazí až do ½ obvodu. Stopka s obdélníkovým otlakem. Hlava pod sedlovým návarem je tvořena zrny austenitu s karbidy a jednotlivá zrna feritu (produkt tepelné degradace).	
Usací			Kužele a čela hlav ventilů ve výchozím stavu. Nevýrazné otlaky na stopkách svědčí o jejich rotaci. Sedlová plocha sacího ventilu není zpevněna. Strukturu tvoří zrna austenitu v poli karbidů usměrněné do řádků dle směru tváření.	
V	-	-	Propálená sedlová plocha bez vměstků a výrazného vytlučení. Paralelní praskliny sedlové plochy lemují průpal. Povrch průpalu není tvořen lomovou plochou. V návaru praskliny. Černohnědý matný povrch kompaktních produktů koroze za tepla na povrchu ventilů. M 985 A/m.	Vyhovující tvrdost stopky i pevnost oceli hlavy. Vnik koroze zatepla. Proud spalin rozrušil kompaktnost návaru. Velmi vysoké tepelné namáhání, čímž došlo k degradaci materiálu.
W	871 747 0016.31	5 826 h 291 300 km	Došlo k propálení výfukového ventilu. Chybějící část hlavy ventilu je ohraničena	Motor nebyl tepelně zatěžován. Materiál ventilů byl vyhovující. Žhavý proud hloubil

			oblými plochami průpalu nikoliv lomu.	v obvodu hlavy kuželový otvor pod návar. Ventil se netočil, proto žhavý proud působil stále do stejného místa hlavy ventilu. Havárie byla způsobena lokálním rasantním teplotním přetížením ventilu.

Tab. 1. Ventily plynových motorů.

Tab. 2. Ventily naftových motorů

Ventil	Motor	Doba provozu	Opotřebení	Vyhodnocení
A	231 721 0009.03	16 000 km	Sezení sedlové plochy bez zjevných vměstků a výrazného vytlučení a nesymetrie v sezení. Na sedlové ploše drobné trhlinky a póry. Rozvinuly se do lomové plochy, která se šířila v osovém směru 11 mm, poté převládlo ohybové namáhání a tangenciální směr dokončovacího druhého lomu. Primární plocha prvního lomu se průchozími spalinami tepelně kontaminovala.	Materiál ventilu byl vyhovující. Tloušťka návaru byla v pořádku. Krátký provoz byl zaviněn nepřiměřeným zkřehnutím hlavně v oblasti povrchu kužele hlavy ventilu. Hodnoty M jsou vysoké. Ventily byly vystaveny vysoké teplotní expozici. Druhý lom, uvolnil klínek materiálu hlavy ventilu a ten způsobil devastaci spalovacího prostoru.
B sací	TURBO 317-020011	19 674 km	Ventil rozlomen na 3 části. Hlava ventilu plasticky deformována. Odlomená část hlavy má charakter krátkodobé únavy. Postupové pásy	Prvotní příčinou havárie nebyl materiál ventilu. Primární únavový lom musel iniciovat v talíři hlavy ventilu. Potřebné

			jsou velmi široké a podíl silového lomu je přes 50%. Dřík bez známek příděru.	ohybové pulzní napětí k jeho iniciaci vyvolala překážka v sedlové ploše.
C	5C1 775 0009.02	152 672 km	Zlomen výfukový ventil, ohnutá ojnice, zadřený pístní čep a potlučený píst. Sedlová plocha bez otlaku. Lom ventilu na rozhraní dříku 12 mm a radiusu hlavy 137 mm od stopky.	Hodnoty tvrdosti vyhovující, návar v pořádku. Hodnoty výfukových ventilů nesvědčí o tepelném přetížení. Ovšem v sacích ventilech byla zjištěna značná teplotní degradace oceli, což svědčí o dlouhodobé provozní anomálii spalovacího procesu. K havárii mohla přispět nekvalitní bronzová vrstva ojničního pouzdra.
D	-	-	Propálený otvor na hranici kužele a sedlového návaru ohraničen pohliníkovanými abrazivními rýhami (mohlo dojít v oxidačním prostředí při extrémním přehřátí k spalování Al par-alumiotermický děj, za vzniku kysličníku hlinitého).	Havárii válce motoru umožnil špatný spalovací režim válce. Nedocházelo k ochlazování sací sekce, ale ke kumulaci tepla. Tento proces vyvrcholil tavením pístu a paprskovitým propálením sacího ventilu.
E	T41 739 0224	71 730 km	Na ventilu odlomený kus obvodové části talířku a to bez známek silového rázu a plastické deformace. Únavový lom zaujímá asi 70 % plochy lomu. Lastura postupových čar jednoznačně ukazuje na jediné ohnisko při	Havárie ventilu začala z podnávarové vady typu studeného spoje. Jeho rozměr překračuje 1 mm, což je větší než smluvní vada, podle níž lze ventily kontrolovat ultrazvukem. Hodnoty tvrdosti jsou poměrně

			návaru.	vysoké. Mezní vysoký obsah C a překročený obsah P přispívají ke křehkosti materiálu a snížené lomové odolnosti.
F sací	T31 739 0118.04	103 000 km	Sedlové plochy jsou značně obrostlé kompaktními úsadami. Symetrické sezení a sedlové plochy s minimálním opotřebením.	Chemické složení a mechanické vlastnosti vyhovují. Ohniskem lomu a příčinou havárie byla podnávarová dutina. Z ní se únavový lom šířil i při relativně nízké hladině namáhání v několika etapách až k úplnému odlomení části ventil. Ventily nebyly vystaveny dlouhodobé teplotní expozici.
G			Lom ventilu. Okolí lomu beze stop silového poškození a plastické deformace. Patrné lastury únavového lomu. Silové dolomení je jen 5% z plochy. První lomová plocha má postupové čáry smazány dlouhou teplotní expozicí, vychází z ploché podnávarové dutiny.	
H	S61 721 0114.01	47 182 km	Lom ventilu. Na sedlové ploše v délce 10 a 7 mm natemován Al. Sedlová plocha je v délce asi 4 cm nalámána až k protilehlé radiální trhlině. Čelo talíře i lomová plocha potlučeny.	Materiál ventilu odpovídal méně doporučené oceli V101. Ohnisko porušení bylo mimo ukončení návaru. K iniciaci a rozvoji lomu patrně dílem přispěl spalovací režim motoru (silné pokrytí ventilů spalinami přehřátí a tím došlo k poklesu pevnosti).
I			Vměstek 3 mm v sedlové ploše. Silné pevné nánosy spalin pronikají až do sedlové plochy. Čelo talíře má silné nánosy.	

J sací	MC1 2 0 0258	Po generální opravě 8 000 km	Lom ventilu. Lomová plocha obepíná téměř celý zbytek talířku ventilu. V oblasti sedla je základní materiál složen ze zrn austenitu a rovnoměrného pole oblých jemných karbidů.	Ke vzniku lomu sacího ventilu přispělo značné tepelné přetížení, které se projevilo zkřehnutím struktury a tím oslabením lomové odolnosti materiálu. Původní materiál ventilu neměl optimální složení.
K	T51 721. 01 0124	33 607 km	Z ventilu je vylomená část obvodové partie talířku i s návarem o délce asi cca 17 mm. Velká teplotní expozice části lomové plochy odstranila ohnisko lomu.	Materiál ventilu je vyhovující. Ohnisko únavového lomu je pod návarem. Po propojení výfukového kanálu se spalovacím prostorem lomu došlo k intenzivnímu podfuku, lokálnímu vzrůstu teploty a odstranění materiálu ventilu i s ohniskem lomu.
L	TA1-739.-0045	28 700 km	Mnoho Al vměstků i přes celé sezení. Čelo bylo potlučeno. Dobře zachované únavové postupové linie. Základní materiál hlavy tvoří zrna austenitu a hrubší karbidy s hranicemi zrn zvýrazněnými jemně vyloučenými karbidy. Vlastní únavová plocha je členitá.	Tepelně ovlivněná zóna je dostatečně silná. Lom se nachází v části dokončení návaru, kde došlo k přetavení počátku návaru. Vyšší tvrdost svědčí o obvyklém provozním tepelném zpevnění (zkřehnutí). Lom má jednoznačně únavový charakter, který se šířil poměrně rychle. Lom nastal v patrně nejslabším místě návaru.
M	T11 704	119 900	Sedlová plocha bez vytlučení. Sedlová	Pevnost i hodnoty tvrdosti materiálu

	0046	km	plocha tepelně nepřetížená, ale potlučená odlomenými částmi. Dominantní podíl únavového lomu. Na návaru tepelně přeměněná struktura při lomové ploše.	hlavy ventilu jsou v pořádku. Koncentrátorem napětí a ohniskem lomu byl patrně nadkritický studený spoj návaru.
N	-	-	Čelo hlavy nenese známky tepelného přetížení, je potlučené odlomenými částmi. Na sedlové ploše četné drobné vměstky ze spalin a prasklina návaru. Statické dolomení při kalotě tvoří jen cca 5% únavového lomu. Oblast ohniska lomu přeměněna žárem spalin.	Prasklina návaru vznikla až po nárazu odlomenou částí. Pevnost a tvrdost ventilu mají vyhovující velikost. Až na nižší obsah Mn vyhovuje i obsah prvků. Únavový lom nastal v místě s malou tloušťkou návaru.
O	S91 704 0142	219 000 km	Čelo hlavy bez známek tepelného přetížení, ale je potlučené odlomenými částmi. Sedlová plocha je vytlučena o cca 0,32 mm se šířkou sezení jen 2 mm, obsahuje několik hrubých tmavých vměstků. Lomová plocha odděluje 1/3 obvodu hlavy se sedlovou plochou. Místo ohniska lomu plošně přeměněn žárem profukujících spalin. Tloušťka návaru 0,92 mm.	Při lomové ploše tepelně přeměněná struktura. Materiál hlavy ventilu vyhovuje. Příčinu lomu nelze jednoznačně stanovit, neboť část ventilu s ohniskem lomu nebyla zachována. Mohla jí být stejně tak podnávarová nespojitost materiálu jako provozní vlivy.
P	T41 739 0224	95 300 km	Čelo hlavy bez známek tepelného přetížení, ale je potlučené odlomenými částmi. Šířku sezení 3,8 mm tvoří 2 mm pruh	Výfukový ventil byl v provozu dlouho s profukující trhlinou. Proto byl prvotně poškozen a tím došlo

			kovově lesklý ohraničený vrstvou spalin. Vměstky Al. Silové dolomení a plochu lomu nelze pro plastické poškození rozeznat. Tepelně přeměněná struktura při lomové ploše a tepelné trhliny.	ke zničení žárem výfukových plynů. K nižší houževnatosti materiálu přispělo vyšší zkřehnutí teplotní provozní expozicí. Lom mohla vytvořit jak vada homogenity v oblasti návaru jako úder ostřejšího tělesa.
Q sací			Odlomená část obvodu hlavy se sedlovou plochou. Čelo potlučené odlomenými částmi. Sedlová plocha bez porušení, obsahuje jeden velký Al vměstek. Struktura sorbitické matrice, na níž se nalézají četné oblé karbidy do 20 μm.	Chemické složení sacího ventilu je vyhovující, má vysokou tvrdost sedlové plochy. Lom ventilu byl způsoben místním přetížením sedlové plochy odlomenou částí výfukového ventilu.
R sací	V51 755 01 0050	140 h 7 000 km	Sedlová plocha ve dvou místech mimo odlomenou část podfukuje vlivem poškození vnějšího obvodu úderem. V těchto místech došlo ke vzniku osové praskliny. Čelo je v oblasti ohniska lomu vyduté a celkově potlučené.	Obsah legujících prvků vyhovující až na Si, jehož obsah je pod dolní předepsanou tolerancí. Poškození sacího ventilu iniciovala přítomnost cizích těles v sedlové ploše. Odolnost materiálu sedla vůči porušení snížila odchylka v obsahu Si a výskyt vnitřních vad.
S	SC1 704 0075	132 000 km	Čelo hlavy bez známek tepelného přetížení, ale je potlučené odlomenými částmi. Sedlová plocha bez vytlučení. Lomovou plochu tvoří primární lom šířící se z vnější sedlové	Mechanické vlastnosti ventilu mají vyhovující hodnoty. Obsah Mn o 2,4% pod tolerančním pásem. Nadkritická podnávarová

			partie a sekundární lom dokončený dolomením. Síla návaru 1,3 a 1,5 mm. V R20 až 50 µm s ojedinělými karbidy na hranicích zrn.	nespojitost a dutina tvoří ohnisko a příčinu lomu ventilu.
T	SB 721 0180	-	Čelo hlavy bez známek tepelného přetížení. Sedlová plocha bez vytlučení. Dominantní podíl únavového lomu. Odpočinkové čáry na lomové ploše lze pozorovat až k ohnisku v návaru k výrazné dutině 2 mm spojené s povrchem.	Kromě sníženého obsahu Mn v základním materiálu ventil byl v pořádku. Iniciátorem lomu byla výrazná návarová dutina nadkritické velikosti.
U	S91 704 0177	178 000 km	Čelo hlavy bez známek tepelného přetížení bylo vypouklé. Sedlová plocha bez vytlučení, avšak sezení jen na vnějším obvodu sedla, zbytek sedlové plochy zakarbonován. Dominantní podíl únavového lomu. V oblasti návaru lom přeměněn žárem pronikajících spalin. Hloubka vytlučení sedlové plochy max. 0,04 mm.	Mechanické vlastnosti ventilu vyhovující. Obsah C a Mn pod dolní mezí. Na vzniku lomu se podílel tenký návar (nízká únosnost zatepla), téměř čarové sezení sedlové plochy a dutina v návaru.
V	S41 704 0124	140 000 km	Čelo hlavy bez známek tepelného přetížení. Sedlová plocha vytlučena max. 20 µm, v místě lomu 0,12 mm. Dominantní podíl únavového lomu. V oblasti návaru a vzniku poškození má povrch zrnitý charakter	Materiál ventilu až na snížený obsah Mn vyhovuje. K rozvoji únavového porušení přispěl vrubový účinek podnávarové půlkruhovité dutiny a tím i snížený průřez návaru.

			(od pronikajících spalin). Vrstevnicový lom návaru. Propojuje shluk řidin.	
W	T21 721 0068	-	Čelo hlavy bez známek tepelného přetížení. Sedlová plocha bez vytlučení. Dominantní podíl únavového lomu svědčí o celkově nízké hladině zatížení. Lom přeměněn žárem pronikajících spalin – delší proběh s rozvinutou trhlinou. Struktura ovlivněná žárem (30% perlitu).	Až na nižší obsah Mn složení prvků vyhovující. Pevnost vlivem zkřehnutí žárem je na horní hranici a tvrdost návaru na dolní hranici. Ohnisko poškození není na žárem přeměněné lomové ploše zřejmé.
X	T31 739 0067	183 567 km	Čelo hlavy bez známek tepelného přetížení bylo mírně vypouklé. Sedlová plocha žlábkovitě vytlučena 0,2 mm o šířce 2,5 mm s kovovým leskem a několika velkými Al vměstky. Část návaru při lomu vypadlá. Únavový lom opět dominantní. Silové dolomení nepatrné. Odpočinkové dráhy s velkou roztečí – krátký proběh s trhlinou. Oblast ohniska lomu rozmetána nejspíše úderem. V R20 zrna dlouhá až 75 μm s jemnými karbidy na hranicích. Tepelné trhliny do návaru.	Materiál ventilu obsahuje méně Mn. Na čele hlavy zkřehl tepelnou expozicí nad povolenou mez. Vytlučení sedlové plochy a podnávarová vada s malou tloušťkou návaru. Uvedené skutečnosti usnadnily iniciaci únavového lomu.
Y	T31 739 0067	196 780 km	Čelo hlavy bez známek tepelného přetížení bylo mírně vypouklé. Sedlová plocha slabě žlábkovitě vytlučena s výrazným Al vměstkem. Dominantní	Materiál hlavy ventilu je vyhovující. Přítomnost vady v ohnisku lomu nebyla přímo prokázána. Dominance

			podíl únavového lomu. Oblast ohniska souvisí s výrazným žebrem o šířce 1,2 mm, které vychází zpod návaru. Při R20 zrna 38 μm s obálkou jemných karbidů a náznaku transformace struktury.	únavového lomu svědčí o celkově nízké hladině zatížení.
Z	T11 739 00047	96 000 km	Čelo hlavy rovné, sedlová plocha částečně vytlučena, široké sezení. Podíl únavového lomu dominantní. Oblast ohniska souvisí s ostrou podnávarovou nespojitostí povrch u lomu o délce 2 mm. Při čele hlavy tepelné trhliny.	Pevnost a tvrdost ventilů odpovídá předpisu. Únavový lom byl iniciován za provozu při postupném vytloukání sedla a křehnutí struktury a hlavně zeslabením návaru z 1,1 na 0,85 mm v tomtéž místě.
AA sací	V61 755 01 0122	320 h 16 000 km	Sedlová plocha bez opotřebení a vměstků. Postupové čáry lomu daleko od sebe – rychlý postup lomu. Statické dolomení lomu nepatrné (malé celkové namáhání). Čelní plocha mírně vydutá 0,2 mm. Na čele tři kolovité otisky Ø 0,3 až 0,7 mm.	Mechanické vlastnosti, struktura a chemické složení odpovídají předpisu. Tvrdost vrstvy poměrně vysoká. K iniciaci lomu z čela hlavy ventilu cca 1,5 mm od vnějšího průměru, přispělo vysoké rázové namáhání po prasknutí pružiny.
BB	R01 739 00 0075	160 000 km	Opotřebení sedlové plochy 0,1 mm. Čelo hlavy rovné bez známek mechanického přetížení za tepla. Při povrchu vstupují do zrn skluzová pásma a vrstva produktu koroze ventilu.	Motor byl velmi namáhán. Došlo ke korozi. Chemické složení ventilu vyhovující. Tvrdost velmi vysoká.

Tab. 2. Ventily naftových motorů.

6.3. Příloha 03

Návodka pro měření přístrojem DOMENA firmy TEDOM je uvedena v tabulce 1.

1 TEDOM Jablonec n.N. výrobní a kontrolní postup

TEDOM	OPERAČNÍ OBECNÁ NÁVODKA PRO PRACOVIŠTĚ **AJ231N, AJ221N**	Listů 2

Název dílu: Součásti a polotvary z konstrukčních ocelí po tepelném zpracování.	Číslo výkresu: OBECNÝ POSTUP	Provoz: divize MOTORY Jablonec n. N. 466 05
		Materiál: oceli nad 0,3%C

Kontrolní místa: Stěny silnější jak 8mm, rovné nebo válcové povrchy do D20. Tryskané, mořené, obrobené povrchy dříve nezmagnetované.	Požadavky na kontrolu: **Kontrola stavu tepelného zpracování: Kalený, žíhaný, popuštěný.**

Název	**Operace č.**	**Popis práce – sled úkonů**	**Zařízení, přípravky předmět**	celkový čas s.	Displej
Nastavení	1	Připojit sondu k zařízení a zajistit šroubením. Hlavní přepínač do polohy „ZAPNUTO". Přepínač magnetizace M do polohy 4. Přepínač funkcí do polohy T	DOMENA B, NC	15	000 1.00
Začátek kalibrace	2	Klávesnicí napsat na displeji hodnotu etalonu 180 (Mo). Zmáčknout tlačítko „ENTER" (šipka) Dvěma prsty uchopit sondu při jejím čele a přiložit na předkreslené (kružnice) místo na povrchu etalonu.	Etalon Mo180	10	180 C 0
Kalibrace dle etalonu	3	Zmáčknout dalším prstem tlačítko start na sondě, proběhne měřící cyklus, na displeji se ukáže hodnota vnitřní korekční konstanty × 10^{-3}.		10	C 1 C 2 C 3 Konst
Ověření kalibrace	4	Přepínač funkcí do polohy L Zmáčknout start – proběhne měřící cyklus (neustále přidržovat sondu na etalonu) Vypnutím přístroje se kalibrace zruší. Displej musí ukazovat hodnotu Mo+-2%. Při větší odchylce nutno operace 2-4 opakovat.		5 Re 20	000 C 1 C 2 C 3 177-183
První měření M	5	Přiložit čelo sondy na měřený povrch součásti tak, aby se střed sondy dotýkal kovu. Na válcovém povrchu k tečnému umístění sondy použít plastové prisma. Přepínač funkcí do polohy L. Odstartovat měřící cyklus tlačítkem na sondě. Zaznamenat první hodnotu M_1	DOMENA Součást, Prisma	5	000 C 1 C 2 C 3 M_1
druhé měření M	6	V identické poloze sondy odstartovat druhý měřící cyklus. Zaznamenat hodnotu M_2		5	000 C 1 C 2 C 3

2 TEDOM Jablonec n.N. výrobní a kontrolní postup

					M_2
vyhodnocení	7	Stav oceli jednoznačně určuje velikost rozdílu $dM_{12} = M_1 - M_2$ **>30** **15 až 30** **<15** Stav **kalen** **popuštěn** **žíhán A1**		10	
kvantifikace	8	Konkrétní hodnoty mechanických vlastností nutno počítat ze vzorníku hodnot dM, M a HV konkrétních značek ocelí.			
celkem				60	

Vypracoval: SKRBEK. B. Dne: 2010-30-08.	Zkontroloval: MERUNKA J. Dne:	Schválil: VRBA Vladimír Dne: 2010-09-02
Změny		

TEDOM
TEDOM a.s. Motory 12

Záznam o kontrole servis		
Kontroloval :	Datum :	
Záznam o kontrole OŘJ		
Kontroloval :	Datum :	

Tab. 1. Návodka měření přístrojem DOMENA.

Obr. 1. Přístroj DOMENA.